

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Escuela de Ingeniería en Construcción**

Comportamiento físico y mecánico de elementos no estructurales a base de  
concreto elaborado con fibra de cáscara de arroz

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Paola Aydalení Martínez Gatica

Cartago, Mayo 2020.

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: \_\_\_\_\_

Señores  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo \_\_\_\_\_  
carné No. \_\_\_\_\_, ☐ si autorizo ☐ no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico  
(SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado  
de \_\_\_\_\_, en la carrera de \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_, presentado en la fecha \_\_\_\_\_, con el título \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

para ser ubicado en el Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet.

PAOLA AYDALENI

MARTINEZ GATICA (FIRMA)

Digitally signed by PAOLA  
AYDALENI MARTINEZ GATICA

(FIRMA)

Date: 2020.07.14 17:07:04 -06'00'

Firma de estudiante: \_\_\_\_\_ .

Correo electrónico: \_\_\_\_\_ .

Cédula No.: \_\_\_\_\_ .

# **Comportamiento físico y mecánico de elementos no estructurales a base de concreto elaborado con fibra de cáscara de arroz**

# Resumen

En el presente trabajo de investigación se estudió el comportamiento físico y mecánico de dosificaciones de concreto con fibras naturales utilizadas para la elaboración de elementos tipo bloques no estructurales. Las dosificaciones fueron elaboradas con un ligante tipo cemento Portland y como único agregado la cáscara de arroz sin ningún tipo de tratamiento previo. En este proyecto, a esta mezcla se le denomina bio-concreto.

Este proyecto se realizó en la Escuela Nacional de Trabajos Públicos (ENTPE) de la Universidad de Lyon en alianza de investigación con la Escuela de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica. Se estudiaron diferentes dosificaciones de bio-concreto en donde se analizó el comportamiento mecánico ante la compresión en especímenes cilíndricos, con el fin de elegir dos dosificaciones, una para Costa Rica y una para Francia.

Una vez elegidas las dosificaciones, se procedió a estudiar el comportamiento mecánico a compresión en cilindros, la flexión en prismas, el comportamiento térmico en especímenes de ambas formulaciones, culminando con el comportamiento mecánico a compresión de bloques de 15x20x40 cm (ancho, alto y largo).

Los resultados muestran el cumplimiento con la resistencia mínima ante la compresión de las normas vigentes para Costa Rica y Francia, ambas formulaciones permiten, además, tener un material con alta capacidad de aislamiento térmico y densidades menores a 1 500 kg/m<sup>3</sup>. Por lo que el uso de este material no se limita a muros no estructurales, sino que también podría ser utilizado en techos, pisos y acabados.

Palabras clave: bio-concreto, bloques no estructurales, cáscara de arroz, materiales para la construcción.

# Résumé

Cette recherche vise à caractériser le comportement physique et mécanique des dosages de béton avec fibres naturelles utilisés pour l'élaboration d'éléments type bloque non structuraux fabriqués avec un mélange de ciment Portland comme liant et de la balle de riz comme seul agrégat sans aucun traitement préalable.

Ce projet a été réalisé à l'École Nationale des Travaux Publics (ENTPE) de l'Université de Lyon, en alliance de recherche avec l'École d'Ingénierie en Construction du Tecnológico du Costa Rica. Différentes formulations de bio-béton ont été préalablement étudiées et le comportement mécanique a été analysé sous compression sur des éprouvettes cylindriques afin de choisir deux formulations pour la réalisation de briques, une pour le Costa Rica et une pour la France.

Une fois les formulations choisies, il a été procédé à l'étude du comportement en compression mécanique de cylindres, en flexion de prismes, du comportement thermique d'échantillons des deux formulations, et pour finir au comportement mécanique en compression et en flexion de briques de 15x20x40 cm (largeur, hauteur et long).

Les résultats montrent le respect de la résistance minimale à la compression de la réglementation en vigueur pour le Costa Rica et la France, les deux formulations permettent également d'avoir un matériau à haute capacité d'isolation thermique et des densités inférieures à 1 500 kg/m<sup>3</sup>. Ainsi, l'utilisation de ce matériau ne se limite pas aux murs mais pourrait également être utilisée dans les plafonds, les sols et les finitions.

Mots-clés: bio-béton, briques non structurales, balle de riz, matériaux de construction.



# **Comportamiento físico y mecánico de elementos no estructurales a base de concreto elaborado con fibra de cáscara de arroz**

Paola Martínez Gatica

Proyecto de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Marzo 2020

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio.....5

Resumen ejecutivo .....7

Terminología.....11

Marco teórico .....14

Metodología .....41

Resultados .....63

Análisis de resultados.....148

Conclusiones .....184

Recomendaciones.....191

Referencias.....193

Anexos.....195

# Contenu

Préface..... 5

Résumé général..... 7

Terminologie ..... 11

Cadre théorique ..... 14

Méthodologie..... 41

Résultats ..... 63

Analyse des résultats ..... 148

Conclusions..... 184

Recommandations ..... 191

Références ..... 193

Annexes ..... 195

# Prefacio

La importancia de este proyecto radica en la necesidad de buscar propuestas y soluciones en materiales para la construcción que sean cada vez más amigables con el ambiente y su desempeño sea comparable con los que se cuenta en la actualidad.

Basado en la amplia experiencia de investigadores del ENTPE en estudios con concretos en los cuales como agregado se utiliza fibras naturales como el cáñamo, bagazo, lino entre otras y tomando como base la investigación realizada entre esta institución y el Tecnológico de Costa Rica, donde se caracterizó el comportamiento mecánico ante la compresión y la capacidad térmica de algunas dosificaciones de concreto con cáscara de arroz como único agregado (Mena Rodríguez, 2019), se toma como referencia y punto de partida dichas experiencias.

Este proyecto pretende determinar la resistencia a la compresión en diferentes dosificaciones de bio-concreto con cáscara de arroz como único agregado y sin ningún tipo de tratamiento previo, para escoger dos de estas dosificaciones y caracterizar su comportamiento físico y mecánico con el fin de realizar elementos tipo bloques no estructurales, que cumplan con la resistencia a compresión demandada por normativa de INTE C89-2017 "Bloques de concreto para uso no estructural-Requisitos" para el caso de Costa Rica y las normas NF y el Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo (este como referencia) para el caso de Francia.

# Préface

L'importance de ce projet réside dans la nécessité de rechercher des matériaux de construction, de plus en plus respectueux de l'environnement et dont les performances sont comparables à celles actuellement disponibles.

Sur la base de la longue expérience de l'équipe de chercheurs de l'ENTPE dans les études de béton dans lesquelles les agrégats sont des particules végétales telles que la chènevotte (chanvre), la bagasse (canne à sucre), les anas ou pailles de lin, entre autres, et sur la base des recherches menées entre l'Institut Technologique du Costa Rica et cet établissement, où a été caractérisé le comportement mécanique sous compression et les propriétés thermiques de certains dosages de béton avec balle de riz comme seul agrégat (Mena Rodríguez, 2019), ces expériences ont été prises comme référence et point de départ.

Ce projet a pour objectif de déterminer la résistance à la compression de différents dosages de bio-béton avec balle de riz comme seul agrégat et sans traitement préalable, de choisir deux de ces dosages et de caractériser leur comportement physique et mécanique afin de réaliser des éléments de briques de type non structurels, qui respectent la résistance à la compression exigée par la réglementation INTE C89-2017 "Blocs de béton à usage non structurel - Exigences" pour le cas du Costa Rica et les normes NF et le Protocole d'Essais pour la Mesure des Performances Seuls des Bétons de Chanvre (ceci à titre de référence) pour le cas de la France.

## Agradecimientos

Este trabajo está dedicado a cada una de las personas que me han apoyado y creído en mí.

Primeramente gracias a Florencia y Franklin por ser los mejores padres, gracias por cada esfuerzo y sacrificio que hicieron por mí. Gracias por enseñarme que con esfuerzo, perseverancia y honradez los sueños se cumplen.

A Emiliana y Sebastián por ser mi motivación a ser mejor cada día y recargarme el alma cada vez que los abrazo.

A Oscar por ser mi apoyo incondicional y darme siempre alas para volar.

A Marielos y Luis Fernando por todo el amor y apoyo, son mis segundos padres.

A mis amigas y amigos que sin importar la distancia y el tiempo siempre tuvieron una palabra de cariño y aliento a seguir.

A Gustavo Rojas, Mauricio Araya y Sonia Vargas por toda la ayuda académica que me dieron en este proyecto y creer en mis capacidades como estudiante.

Al ENTPE de la Universidad de Lyon, por abrirme las puertas para desarrollar la investigación al lado de sus profesionales como lo es Stéphane Hans y Frédéric Sallet.

Gracias por ser más que mis mentores en el proyecto, por compartir sus conocimientos, recibirme tan cordialmente y hacerme sentir siempre como en casa, a ustedes y sus familias muchas gracias.

Por último, gracias al Tecnológico de Costa Rica por ser la institución que me formó como profesional.

## Remerciements

Ce travail est dédié à chacune des personnes qui m'ont soutenu et ont cru en moi.

Tout d'abord merci à Florencia et Franklin pour être les meilleurs parents, merci pour chaque effort et sacrifice qu'ils ont fait pour moi. Merci de m'avoir appris qu'avec l'effort, la persévérance et l'honnêteté, les rêves deviennent réalité.

À Emiliana et Sebastián d'avoir été ma motivation pour être meilleur chaque jour et recharger mon âme à chaque fois que je les étire.

Oscar pour être mon soutien incondicional et me donner toujours des ailes pour voler.

À Marielos et Luis Fernando pour tout l'amour et le soutien, vous êtes mes deuxièmes parents.

À mes amis et amis qui, indépendamment de la distance et du temps, avaient toujours un mot d'amour et d'encouragement à suivre.

Aux professeurs Gustavo Rojas, Mauricio Araya et Sonia Vargas pour toute l'aide académique qu'ils m'ont apportée dans ce projet et à croire en mes capacités d'étudiant.

À l'ENTPE de l'Université de Lyon, pour avoir ouvert les portes du développement de la recherche aux côtés de leurs professionnels tels que Stéphane Hans et Frédéric Sallet.

Merci d'être plus que mes mentors dans le projet, de partager vos connaissances, de me recevoir si cordialement et de me faire me sentir toujours chez moi, merci à vous et à vos familles.

Enfin, merci au Tecnológico de Costa Rica pour être l'institution qui m'a formé en tant que professionnel.

# Resumen ejecutivo

La construcción es una de las actividades del ser humano más importantes para el desarrollo de la vida cotidiana, el impacto que genera el sector construcción no solo es positivo, sino que también genera un impacto negativo en el ambiente como lo expone (Lehne & Preston, Chatham House Report, 2018). Esta industria es la responsable de contribuir alrededor de un 8 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial.

El concreto es el material más utilizado en la construcción y, debido a su demanda mundial, es el segundo recurso más consumido solo siendo superado por el agua según (Global Cement and Concrete Association, 2019). El cemento, es el aglutinante más común en los concretos. (Lehne & Preston, Making Concrete Change, 2018) exponen que aproximadamente 4 000 millones de toneladas de este se producen anualmente en el mundo.

Ciertamente, todo el concreto producido anualmente no se usa en el mismo tipo de infraestructura, pero gran parte se usa en bienes raíces donde se emplean tanto en elementos estructurales (particularmente en carga) como en elementos no estructural (relleno). Este último punto es importante y hace posible considerar reemplazar este concreto no estructural con un material más ecológico que quizás presente menos eficiente mecánicamente, pero que cumpla con los requisitos de construcción y que pueda tener funciones adicionales como aislamiento térmico, acústico y regulador ambiental.

La Escuela de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica ha mostrado iniciativa de investigación en metodologías constructivas sostenibles con el ambiente. Por lo que crear alianzas con otros entes educativos

# Résumé général

Le secteur de la construction est l'une des activités humaines les plus importantes pour le développement de la vie quotidienne, et son impact est de ce point de vue positif, mais il génère actuellement un impact négatif sur l'environnement : comme le disent (Lehne & Preston, Chatham House Report, 2018), cette industrie est responsable d'environ 8 % des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde.

Le béton est le matériau le plus utilisé dans la construction et en raison de sa demande mondiale, il est la deuxième ressource la plus consommée, après celle en eau selon le (Global Cement and Concrete Association, 2019). Le ciment, qui est le liant le plus courant dans le béton (Lehne & Preston, Making Concrete Change, 2018) indique qu'environ 4 milliards de tonnes de ce produit sont produites chaque année dans le monde.

S'il est vrai que tout le béton produit annuellement n'est pas utilisé dans le même type d'infrastructure, la majorité est utilisée dans l'immobilier où il est utilisé aussi bien dans les éléments structurels (porteurs notamment) que dans les éléments non structurels (en remplissage). Ce dernier point est important et permet d'envisager le remplacement de ce béton non structurel avec un matériau plus écologique qui peut être moins efficace mécaniquement, mais qui répond aux exigences de construction et peut avoir des fonctions supplémentaires telles que l'isolation thermique, acoustique et la régulation du confort intérieur.

L'École d'Ingénierie en Construction du Tecnológico du Costa Rica a une volonté d'investigation dans des méthodologies constructives durables. Alors, créez des alliances

como el ENTPE, que cuenta con investigadores con larga trayectoria y experiencia en estudios de nuevos eco materiales para la construcción da la base al presente proyecto, el cual se planteó como objetivo principal determinar el comportamiento físico y mecánico que presentan elementos no estructurales tipo bloques.

Estos elementos se realizaron con bio-concreto, el cual es una mezcla que utiliza un ligante como aglutinante en la mezcla, fibra natural como único agregado en este caso la cáscara de arroz y agua.

Además, fue necesario plantearse como objetivos específicos:

- Describir las principales características físicas de la cáscara de arroz utilizada.
- Proponer dos dosificaciones de bio-concreto para la realización de los bloques no estructurales.
- Medir el comportamiento mecánico en diferentes especímenes elaborados con las dos dosificaciones escogidas.
- Valorar el comportamiento térmico en especímenes elaborados con las dosificaciones escogidas.

La metodología que se utilizó en los diferentes objetivos del proyecto se basó tanto en normas para concretos hidráulicos convencionales de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales ASTM por sus siglas en inglés, Normas Francesas NF y Reglas Profesionales: Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo, así como la utilizada experimentalmente en proyectos de investigación previos en donde trabajaron con bio-concretos, lo anterior debido a que actualmente no se cuenta con normas específicas para el tipo de bio-concreto estudiado en este proyecto.

Para la caracterización de la cáscara del arroz utilizada, se tamizó el material, se estudió la absorción de agua en diferentes tiempos y se calculó la densidad suelta aparente.

El proponer las dos dosificaciones del bio-concreto requirió analizar los resultados de la resistencia a la compresión de las formulaciones estudiadas en los proyectos de investigación de (Mena Rodríguez, 2019) y (Mardama Nayagom, 2019). Además, se fabricó 24 formulaciones de las cuales en 3 se utilizó como ligante cal natural y en las restantes 21 cemento hidráulico Portland tipo II.

avec d'autres entités éducatives telles que l'ENTPE, qui regroupe des chercheurs avec une longue histoire et une expérience des études de nouveaux éco-matériaux pour la construction donne la base du présent projet, dont l'objectif principal est de déterminer le comportement physique et mécanique présenté par des éléments non structuraux de type brique.

Ces éléments ont été fabriqués avec du bio-béton, qui est un mélange qui utilise un liant classique comme le ciment et la balle de riz comme unique agrégat.

De plus, il fallait proposer comme objectifs spécifiques:

- Décrire les principales caractéristiques physiques de la balle de riz utilisée.
- Proposer deux dosages de bio-béton pour la réalisation de blocs non structuraux.
- Mesurer le comportement mécanique dans différents échantillons réalisés avec les deux dosages choisis.
- Évaluer le comportement thermique des échantillons réalisés avec les dosages choisis.

La méthodologie qui a été utilisée dans les différents objectifs du projet était basée à la fois sur les normes pour les bétons hydrauliques conventionnels de l'American Association of Materials Testing ASTM pour son acronyme en anglais, NF français Standards and Professional Rules: Protocoles d'essais pour la mesure des performances seuils des bétons de chanvre, ainsi que celui utilisé expérimentalement dans les projets de recherche précédents où ils travaillaient avec du bio-béton, ce qui précède car il n'existe actuellement aucune norme spécifique pour le type de bio-béton étudié dans ce projet.

Pour la caractérisation de la balle de riz utilisée, la granulométrie des particules a été déterminée, l'absorption d'eau a été mesurée en fonction du temps ainsi que la densité apparente non compactée.

Pour proposer deux formulations de bio-béton, il a fallu analyser les résultats de la résistance à la compression des formulations étudiées dans les précédents projets de recherche de (Mena Rodríguez, 2019) et (Mardama Nayagom, 2019), complétés dans cette étude de 24 formulations parmi lesquelles 3 ont intégré comme liant de la chaux naturel et dans les 21 autres du ciment hydraulique Portland CEM II.

La variación entre estas 24 formulaciones fue la relación agregado/ligante y luego la relación agua/ligante.

Se realizó el ensayo de compresión en cilindros de 16/32 cm y 11/22 cm (diámetro/altura) en diferentes edades como 7, 28 y 60 días. Se comparó los resultados de la resistencia a la compresión y finalmente se escogió una formulación que cumpliera con la resistencia mínima promedio establecida de 4,14 MPa en la norma INTE C89-2017 para el caso de Costa Rica y para el caso de Francia la resistencia mínima de 0,3 MPa de la Norma Profesional Francesa para Concretos con Base en Cáñamo.

Una vez escogidas las formulaciones de interés, se procedió a realizar especímenes tipo bloques de 15x20x40 cm (ancho, alto, largo) y sin agujeros, prismas de 14x14x56 cm (alto, ancho, largo), cilindros de 16/32 cm (diámetro / altura), con el fin de realizar ensayos mecánicos de resistencia a compresión a los 7 y 28 días y flexión a los 60 días.

De dos cilindros de 16/32 cm (diámetro / altura) de cada una de las dos formulaciones finales se extrajeron, 3 especímenes de 5 cm de alto para determinar las propiedades de sorción higroscópicas del material (MBV) según procedimiento (NORDTEST), 6 especímenes de 5 cm alto, se usaron para el estudio de la conductividad y efusividad térmica, por último 3 especímenes de 3 cm de alto para el estudio de las propiedades de transmisión de vapor de agua (WetCup) según norma ISO 12571: 2013, con el fin de caracterizar algunas de las capacidades físicas del material en estudio.

Como parte de los resultados más importantes de este proyecto se escogió para Costa Rica la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 con un rango de densidad inicial aparente de 1 407 a 1 468 kg/m<sup>3</sup>, resistencia a la compresión promedio de 4,8 MPa a los 28 días, un módulo de elasticidad aparente de 529,9 MPa a los 28 días, resistencia a la flexión de 2,75 MPa a los 70 días, para las características físicas se obtuvo una conductividad térmica de 0,240 W/(m.K), efusividad térmica de 626 J/(K.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>), se reporta un rango del valor de amortiguación de humedad (MBV) de 1,75 a 1,89 g/(m<sup>2</sup>. %HR) y la resistencia a la penetración del vapor de agua del ensayo de Wetcup de 3,23E+09 (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg.

Les paramètres variables entre ces 24 formulations étaient le rapport agrégat/liant et le rapport eau/liant.

L'essai de compression a été effectué sur des cylindres de 16/32 cm et 11/22 cm (diamètre/hauteur) à différents âges tels que 7, 28 et 60 jours. Les résultats de la résistance à la compression ont été comparés et finalement une formulation a été choisie qui respectait la résistance moyenne minimale de 4,14 MPa établie dans la norme INTE C89-2017 pour le cas du Costa Rica et pour la France la résistance minimale de 0,3 MPa des Règles Professionnelles Françaises du Béton à base de Chanvre.

Une fois que les formulations d'intérêt ont été choisies, des échantillons de briques de 15x20x40 cm (largeur, hauteur, longueur) ont été fabriqués sans trous, ainsi que des prismes de 14x14x56 cm (hauteur, largeur, longueur), des cylindres de 16/32 cm (diamètre/hauteur), afin de réaliser des tests mécaniques de résistance à la compression à 7 et 28 jours et de flexion à 60 jours.

À partir de deux cylindres de 16/32 cm (diamètre/hauteur) de chacune des deux formulations finales, 3 échantillons de 5 cm de hauteur ont été extraits pour déterminer les propriétés de sorption hygroscopique du matériau (MVB) selon la procédure (NORDTEST), 6 Spécimens de 5 cm de haut, pour l'étude de la conductivité et l'effusivité thermique, enfin 3 échantillons de 3 cm pour l'étude des propriétés de transmission de la vapeur d'eau (WetCup) la norme ISO 12571:2013, afin de caractériser certaines des capacités physiques du matériau étudié.

Dans le cadre des résultats les plus importants de ce projet, la formulation FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45 a été choisie pour le Costa Rica avec une densité apparente initiale de 1 407 à 1 468 kg/m<sup>3</sup>, résistance à la compression moyenne de 4,8 MPa à 28 jours, un module d'élasticité apparent de 529,9 MPa à 28 jours, une résistance à la flexion de 2,75 MPa à 70 jours. Pour les caractéristiques physiques, une conductivité thermique de 0,240 W/(m.K) a été obtenue, une effusivité thermique de 626 J/(K.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>), une plage de valeurs d'amortissement de l'humidité (MBV) de 1,75 à 1,89 (g/(m<sup>2</sup>. %HR)) et une résistance à la pénétration de la vapeur d'eau du essai Wetcup de 3,23E+09 (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg.

Para Francia la formulación escogida fue FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,67, presenta un rango de densidad inicial aparente de 849 a 893 kg/m<sup>3</sup>, resistencia a la compresión promedio de 0,6 MPa a los 28 días, un módulo de elasticidad aparente de 61,5 MPa a los 28 días, resistencia a la flexión de 0,75 MPa a los 54 días, para las características físicas se obtuvo una conductividad térmica de 0,125 W/(m.K), efusividad térmica de 322 J/(K.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>), se reporta un rango del valor de amortiguación de humedad (MBV) de 1,84 a 1,88 (g/(m<sup>2</sup>. %HR)) y la resistencia a la penetración del vapor de agua del ensayo de Wetcup de 4,09E+08 (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg.

Finalmente, a pesar de cumplir con los mínimos de resistencia a la compresión establecidos en la norma de interés para bloques no estructurales de INTECO para Costa Rica, en el análisis del costo de producción realizado, se obtuvo que no es viable realizar los bloques no estructurales con la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 puesto que el producirlo porcentualmente es 76,94 % más caro que producir un bloque tipo A (clasificación CSCR-10) de 12x20x40 cm y un 59,43 % más caro que un bloque tipo A (clasificación CSCR-10) de 20x20x40cm, dando una diferencia significativa no solo en rendimiento mecánico sino también en la parte económica.

Por otro lado, para Francia, la realización de estos elementos con la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 resulta viable económicamente en comparación a los productos que se encuentran en el mercado francés, porcentualmente un bloque de bio-concreto de cáscara de arroz sería 38,40 % más caro que un bloque convencional de 15x20x50 cm y a comparación de los bloques de cáñamo sería 78,40 % más barato que un bloques de 12x30x60 cm y 86,95 % más barato que un bloque de 20x30x60 cm. El uso de estos bloques, evita o reduce el uso de aislamiento térmico adicional necesario para combatir el clima francés, los que reduce el costo final de consumo energético de la estructura.

Pour la France, la formulation choisie est FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,67, elle présente une gamme de densité initiale apparente de 849 à 893 kg/m<sup>3</sup>, une résistance moyenne à la compression de 0,6 MPa à 28 jours, un module d'élasticité apparente de 61,5 MPa à 28 jours, une résistance à la flexion 4 points de 0,75 MPa à 54 jours. Les mesures des caractéristiques hygrothermiques, ont donné : une conductivité thermique de 0,125 W/(m.K), une effusivité thermique de 322 J/(K.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>), une plage de valeur d'amortissement de l'humidité (MBV) de 1,84 à 1,88 (g/(m<sup>2</sup>. %HR)) et une résistance à la pénétration de vapeur d'eau du essai Wetcup de 4,09E+08 (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg.

Enfin, malgré le respect de la résistance à la compression minimale établie dans la norme d'intérêt pour les blocs non structurels d'INTECO pour le Costa Rica, dans l'analyse du coût de production effectuée, il a été obtenu qu'il n'est pas viable de fabriquer les blocs non structurels avec la formulation FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45 car le surcoût de production est de 76,94 % plus cher que la production d'un bloc de type A (classification CSCR-10) de 12x20x40 cm et 59,43 % plus cher qu'un bloc de type A (classification CSCR-10) de 20x20x40cm, ce qui donne une différence significative non seulement dans les performances mécaniques mais aussi dans la partie économique.

En revanche, pour la France la réalisation de ces éléments avec la formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66 est économiquement viable par rapport aux produits trouvés sur le marché français, un pourcentage de bloc de bio-béton de balle de riz serait 38,40 % plus cher qu'un bloc conventionnel de 15x20x50 cm mais comparé aux blocs de chanvre, il serait 78,40 % moins cher qu'un bloc de 12x30x60 cm et 86,95 % moins cher qu'un bloc de 20x30x60 cm. Et l'utilisation de ces blocs évite ou réduit l'utilisation d'isolants complémentaires nécessaires pour le climat français, ce qui en réduit donc le coût final de la structure



# Terminología

A/L

Relación agua / ligante utilizado en la mezcla de bio-concreto de cáscara de arroz. Adimensional

C<sub>P</sub>

Capacidad calorífica, indica la capacidad del material para absorber calor. Unidades J/(K.m.s<sup>1/2</sup>)

E

Módulo Young aparente del material, obtenido de la pendiente de la curva de resistencia a la compresión contra deformaciones de los cilindros ensayados. Unidades MPa

f<sub>cbest</sub>

Resistencia a la compresión en bloques estimada, es una estimación de lo que se espera que soporten los bloques a partir de la resistencia a la compresión obtenida en cilindros ensayados a compresión de la misma formulación de bio-concreto. Unidades kN

f<sub>ct</sub>

Resistencia a la flexión en vigas. Unidades N/mm<sup>2</sup> (MPa)

g

Densidad del vapor de agua en cierta área del material. Unidades kg/(s.m<sup>2</sup>)

G<sub>wc</sub>

Cambio de la masa del espécimen con respecto al tiempo, en el ensayo de Wetcup. Unidades kg/s

G/L

Relación Granular (cáscara de arroz) entre Ligante utilizado en la mezcla, ésta relación está basada

# Terminologie

E/L

Rapport eau / liant utilisé dans le mélange bio-béton de cosse de riz. Sans dimension

C<sub>P</sub>

Capacidad calorífica, indique la capacité du matériau à absorber la chaleur. Unités J/(K.m.s<sup>1/2</sup>)

E

Module Young apparent du matériau, obtenu à partir de la pente de la courbe de résistance à la compression contre les déformations des cylindres testés. Unités MPa

f<sub>cbest</sub>

La résistance à la compression estimée des blocs, est une estimation de la résistance attendue des blocs à partir de la résistance à la compression obtenue dans des cylindres essais compression de la même formulation de bio-béton. Unités kN

f<sub>ct</sub>

Résistance à la flexion dans les poutres. Unités N/mm<sup>2</sup> (MPa)

g

Densité de vapeur d'eau dans une certaine zone du matériau. Unités kg/(s.m<sup>2</sup>)

G<sub>wc</sub>

Changement de masse du spécimen par rapport au temps, dans l'essai Wetcup. Unités kg/s

G/L

Rapport granulaire (balle de riz) entre le liant utilisé dans le mélange, ce rapport est basé dans la

en la masa de cáscara de arroz en 1 m<sup>3</sup> de este material sin compactar. Adimensional

F<sub>x</sub>

Formulación en masa de aglutinante (X), para la cantidad de cáscara de arroz en kg, en un volumen de 1 m<sup>3</sup> de agregado vegetal no compactado. Unidad kg/m<sup>3</sup>

h<sub>p</sub>/t<sub>p</sub>

Factor de corrección para la resistencia a la compresión en bloques, dada por la relación de la altura entre ancho del bloque a ensayar, propuesta por la norma ASTM C1314. Adimensional

M<sub>t</sub>

Masa total de la mezcla de bio-concreto. Unidades kg

MBV

Valor de la capacidad de amortiguamiento de humedad en materiales, basado en el ensayo NORDTEST. Unidades g/(m<sup>2</sup>. %HR)

RC

Resistencia a la compresión del espécimen. Unidades MPa

σ<sub>Cmax</sub>

Resistencia a la compresión máxima corregida, en bloques, se toma la resistencia máxima de ensayo y se aplica el factor de forma sugerido por la norma ASTM C1314. Unidades MPa

T<sup>24h</sup><sub>desfase</sub>

Tiempo que tarda una onda de temperatura (cíclica de 24 horas), en atravesar un muro de espesor "d". Unidades horas

W

Penetración del vapor de agua en el material en estudio, en cierta área y diferencia de presión debido a las condiciones del ensayo de wetcup. Unidades kg/(s.m<sup>2</sup>.Pa)

Z

Resistencia que presenta el material por área a que el vapor de agua lo penetre. Unidades (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg

α

Difusividad térmica, es la velocidad con la que el material reacciona al cambio de temperatura en un área dada. Unidades (mm<sup>2</sup>/s)

masse de balle de riz dans 1 m<sup>3</sup> de ce matériau non compacté. Sans dimension

FX

Formulation en masse de liant (X) pour un volume de 1 m<sup>3</sup> de granulats végétal non compacté. Unité kg/m<sup>3</sup>

h<sub>p</sub>/t<sub>p</sub>

Facteur de correction pour la résistance à la compression dans les blocs, donné par le rapport de la hauteur à la largeur du bloc à tester, proposé par ASTM C1314. Sans dimension

M<sub>t</sub>

Masse totale du mélange de bio-béton. Unités kg

MBV

Valeur de la capacité d'amortissement de l'humidité dans les matériaux, basée sur l'essai NORDTEST. Unités g/(m<sup>2</sup>. %HR)

RC

Résistance à la compression du spécimen. Unités MPa

σ<sub>Cmax</sub>

Résistance à la compression maximale corrigée, en blocs, la résistance d'essai maximale est prise et le facteur de forme suggéré par ASTM C1314 est appliqué. Unités MPa

T<sup>24h</sup><sub>desfase</sub>

Temps nécessaire à une onde de température (cyclique 24 heures), pour traverser une paroi d'épaisseur "d" en metres. Unités heures

W

Pénétration de vapeur d'eau dans le matériau à l'étude, dans une certaine zone et différence de pression due aux conditions du test de wetcup. Unités kg/(s.m<sup>2</sup>.Pa)

Z

Résistance que présente le matériau par zone à laquelle la vapeur d'eau le pénètre. Unités (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg

α

La diffusivité thermique est la vitesse à laquelle le matériau réagit au changement de température dans une zone donnée. Unités (mm<sup>2</sup>/s)

$\beta$

Efusividad térmica del material, es la capacidad que tiene el material para absorber calor. Unidades  $J/(K.m.s^{1/2})$

$\delta$

Permeabilidad del material ante el vapor de agua. Unidad  $kg/(s.m.Pa)$

$\lambda$

Conductividad térmica, capacidad de un material para conducir el flujo de calor a través de sí. Unidades  $(W/m.K)$

$\rho$

Densidad de un material, masa del material en determinado volumen. Unidades  $kg/m^3$

$\rho_{ft}$

Densidad final teórica de la mezcla de bio-concreto de cáscara de arroz, el valor teórico del porcentaje adherido al ligante proviene de indicaciones del fabricante del ligante, por lo que el porcentaje puede cambiar según el ligante a utilizar. Unidades  $kg/m^3$

$\rho_{ae}$

Densidad aparente del material antes del ensayo de resistencia a la compresión. Unidades  $kg/m^3$

$\rho_o$

Densidad aparente inicial del material, hace referencia a la densidad medida en los especímenes una vez terminada la mezcla de bio-concreto y fue medida en los diferentes especímenes. Unidades  $kg/m^3$

$\varepsilon$

Deformaciones presentes en los especímenes durante el ensayo de resistencia a la compresión. Adimensional

$\beta$

L'effusivité thermique du matériau est la capacité du matériau à absorber la chaleur. Unités  $J/(K.m.s^{1/2})$

$\delta$

Perméabilité du matériau à la vapeur d'eau. Unité  $kg/(s.m.Pa)$

$\lambda$

La conductivité thermique, la capacité d'un matériau à conduire un flux de chaleur à travers lui-même. Unités  $(W/m.K)$

$\rho$

Densité d'un matériau, masse du matériau dans un certain volume. Unités  $kg/m^3$

$\rho_{ft}$

Densité finale théorique du mélange de bio-béton de cosse de riz, la valeur théorique du pourcentage adhérent au liant provient des indications du fabricant du liant, de sorte que le pourcentage peut changer en fonction du liant à utiliser. Unités  $kg/m^3$

$\rho_{ae}$

Densité apparente du matériau avant l'essai de résistance à la compression. Unités  $kg/m^3$

$\rho_o$

La densité apparente initiale du matériau se réfère à la densité mesurée dans les spécimens une fois le mélange de bio-béton terminé et a été mesurée dans les différents échantillons. Unités  $kg/m^3$

$\varepsilon$

Déformations présentes dans les spécimens lors du test de résistance à la compression. Sans dimension

# Marco teórico

## Definiciones y Materiales

A continuación, se presenta algunas definiciones importantes y materiales que se involucran en el presente proyecto, debido a que este estudia un material relativamente nuevo en el sector construcción. Será necesario basarse tanto en teorías y normas ya establecida para ensayos en concretos hidráulicos convencionales así mismo en la experiencia y resultados de trabajos de investigación previos en materia de concretos con fibras naturales.

### Concreto

El concreto es el material más utilizado en la construcción y debido a su demanda mundial, es el segundo recurso más consumido solo siendo superado por el agua según (Global Cement and Concrete Association, 2019). Para la Unión Europea se calcula que la producción de cemento, materia prima para el concreto, fue de un 8,49 % de la producción mundial y para la región de Latinoamérica y el Caribe un 4,20 %, de acuerdo con los datos presentados en el informe estadístico del 2018 de FICEM (Federación Internacional del Cemento, 2018).

La demanda de concreto anualmente es alta y a pesar de que este material es muy útil para la construcción debido a su capacidad de resistencia a las cargas impuestas en diferentes obras ingenieriles, no se puede ignorar el hecho que su fabricación genera una alta contaminación, debido a esto la investigación sobre materiales eco amigables se vuelve importante, donde su rendimiento pueda sustituir el uso del concreto

# Cadre théorique

## Définitions et matériaux

Voici quelques définitions et matériaux importants qui sont impliqués dans ce projet, car il étudie un matériau relativement nouveau dans le secteur de la construction. Il sera nécessaire de s'appuyer à la fois sur des théories et des normes déjà établies pour les tests sur les bétons hydrauliques conventionnels dans l'expérience et les résultats des travaux de recherche précédents sur le béton avec des particules végétales.

### Le béton

Le béton est le matériau le plus utilisé dans la construction et en raison de sa demande mondiale, il est la deuxième ressource la plus consommée, derrière l'eau selon (Global Cement and Concrete Association, 2019). Pour l'Union européenne, la production de ciment, matière première du béton, est estimée à 8,49 % de la production mondiale et pour la région Amérique latine et Caraïbes 4,20 % selon les données présentées dans Le rapport statistique FICEM 2018 (Federación Internacional del Cemento, 2018).

La demande annuelle de béton est élevée et malgré le fait que ce matériau est très utile pour la construction en raison de sa capacité à résister aux charges imposées aux différents travaux d'ingénierie, on ne peut ignorer le fait que sa fabrication génère un fort impact sur l'environnement, et la recherche sur des matériaux plus respectueux de l'environnement devient essentielle, et visant des performances permettant de remplacer l'utilisation du béton conventionnel

convencional en algunas áreas de la construcción como en la parte no estructural, de insolación, de acabados o de reparaciones. Es de importancia para gradualmente generar un cambio en la manera en la que se construyen las obras inmobiliarias en la actualidad.

## Bio-concreto

Se le llama bio-concreto a la mezcla en la que su matriz cuenta con un agregado de fibra natural, ya sea como agregado único o parcial en esta. Debido a la naturaleza de la fibra, esta puede estar siendo reciclada o bien cultivada con el fin de ser utilizada en este tipo de mezclas, lo que saca ventaja de los agregados convencionales es el hecho que, en el proceso de cultivación, las plantas de donde se extraen las fibras son capaces de absorber CO<sub>2</sub> lo que ayuda a reducir el impacto negativo que pueda generar la extracción de estas, o bien la producción de concretos de este tipo.

En el pasado, diferentes autores han investigado sobre concretos que incluyen fibras naturales, ya sea para mejorar el comportamiento mecánico de este material o bien sustituir parcial o totalmente los agregados pétreos convencionales de las mezclas de concreto. Autores como (Herrera Mejía, Osorio Saraz, & Varón Aristizabal, 2007) que incluyeron fibras de bagazo de caña de azúcar en diferentes porcentajes como fibra de refuerzo en la mezcla de concreto para mejorar las propiedades mecánicas, como ejemplo donde los agregados tradicionales se remplazan en totalidad por una fibra natural como el cáñamo se puede mencionar el trabajo de (Nguyen T. T., 2010).



**Figura 1.** Casa construida con concreto con fibras de cáñamo en México. (Fuente. HeavenGrown México)

**Figure 1.** Maison construite en béton avec des fibres de chanvre au Mexique. (Source. HeavenGrown Mexique)

dans certains domaines de la construction comme dans la partie non structurale, l'isolation, la finition la réparation, il est également important de générer progressivement un changement dans la façon dont l'immobilier est construit.

## Bio-béton

Le mélange est appelé bio-béton dans lequel sa matrice contient un agrégat de particules végétales, soit comme agrégat unique ou partiel dans ce mélange. En raison de la nature de la particule, elle peut être recyclée ou cultivée afin d'être utilisée dans ces types de mélanges. Leur intérêt par rapport aux agrégats minéraux conventionnels est le fait que, dans le processus de culture, les plantes dont elle est issue sont capables d'absorber le CO<sub>2</sub>, ce qui contribue à réduire l'impact négatif que l'extraction de celles-ci peut générer et la production de béton de ce type.

Dans le passé, différents auteurs ont étudié le béton contenant des particules végétales soit pour améliorer le comportement mécanique de ce matériau, soit pour remplacer partiellement ou totalement les agrégats minéraux conventionnels des mélanges de béton, des auteurs tels que (Herrera Mejía, Osorio Saraz, & Varón Aristizabal, 2007) qui ont utilisé de la bagasse de canne à sucre à différents pourcentages comme fibre de renforcement dans le mélange de béton pour améliorer les propriétés mécaniques. On peut citer également de nombreuses études en France dans lesquelles les agrégats minéraux sont entièrement remplacés par des particules de chanvre (Nguyen T. T., 2010).



**Figura 2.** Casa construida con bloques de concreto de cáñamo en Huesca, Aragón España. (Fuente. CANNABRICK)

**Figure 2.** Maison construite en bloc de béton de chanvre à Huesca, Aragón Espagne. (Source. CANNABRICK)

Por otro lado, y más allegado a este proyecto, se destaca el trabajo realizado por (Molina Salas, 2010) quien en su investigación incluyó en diferentes porcentajes la cáscara de arroz en la mezcla de cemento, arena y agua para la producción de elementos tipo bloques estructurales y determinar su comportamiento mecánico, además (Mena Rodríguez, 2019) quien trabajó la cáscara del arroz como único agregado sustituyendo la arena y la piedra en la mezcla de concreto convencional para determinar las propiedades físicas y mecánicas en diferentes dosificaciones de este tipo de mezcla.

Este proyecto pretende estudiar un bio-concreto que utiliza como único agregado la cáscara de arroz la cual es un desecho que queda de la actividad agrícola de la siembra del arroz, un ligante (cal natural o cemento Portland tipo II) y agua, con el fin principal de determinar el comportamiento físico y mecánico que presentan elementos no estructurales tipo bloques para usos no estructurales, a continuación, se describen los materiales utilizados en el proyecto.

## Ligantes

Para el estudio de las formulaciones del bio-concreto se utilizó dos tipos de aglutinantes:

1. OPTIMAT Vicat CEM II/B-LL 32,5 RCE NF: cemento tipo II multipropósito, certificado según norma NF EN 197-1, el cual según ficha técnica del fabricante se puede utilizar durante todo el año, adecuado para trabajos de hormigón en climas cálidos y permite un desencofrado rápido. Su composición química es del al menos 65 % de Clinker, 35 % de otras sustancias calizas con un límite de 10 % de puzolanas naturales o cenizas volantes. Según ficha técnica de ligantes VICAT Fr.
2. Cemento Natural Rápido Vicat (Cal Natural): certificado según norma NF P 15-314, es un cemento natural de fraguado rápido, es creado a partir de la cocción a temperatura moderada de piedra caliza arcillosa de composición regular, que se le da molienda muy fina. Tiene presencia de silicato dicálcico activo, aluminato de calcio rico en alúmina y sulfoaluminato de calcio. Según ficha técnica de ligantes VICAT Fr.

D'autre part et plus proche de ce projet, le travail réalisé par (Molina Salas, 2010) qui dans ses recherches a inclus différents pourcentages de balle de riz dans des bétons classiques (ciment et sable) pour réaliser des blocs structuraux et à déterminer leurs comportements mécaniques, et enfin (Mena Rodríguez, 2019) qui a travaillé avec la balle de riz comme seul agrégat remplaçant le sable et la pierre dans le mélange de béton conventionnel pour déterminer les propriétés physiques et mécaniques dans différents dosages de ce type de mélange.

Ce projet vise à étudier un bio-béton, qui utilise la cosse de riz comme seul agrégat qui est un déchet qui reste de l'activité agricole de riziculture, un liant (chaux naturelle ou ciment Portland type II) et de l'eau, avec Le principal objectif de la détermination du comportement physique et mécanique présenté par des éléments de type bloc non structuraux pour des utilisations non structurales, les matériaux utilisés et associés dans le projet sont décrits ci-dessous.

## Liants

Deux types de liants ont été utilisés pour étudier les formulations de bio-béton :

1. OPTIMAT Vicat CEM II/B-LL 32.5 RCE NF : ciment polyvalent type II, certifié selon la norme NF EN 197-1, qui selon la fiche technique du constructeur peut être utilisé tout au long de l'année, adapté aux travaux de béton en climats chauds et permet un décoffrage rapide. Sa composition chimique est d'au moins 65 % de clinker, 35 % d'autres substances calcaires avec une limite de 10 % de pouzzolanes naturelles ou de cendres volantes. Selon la fiche technique VICAT Fr.
2. Ciment Naturel Rapide Vicat (Chaux Naturelle) : certifié selon la norme NF P 15-314, c'est un ciment naturel à prise rapide, créé à partir de la cuisson à température modérée de calcaire argileux de composition régulière, broyé finement. Il y a la présence de silicate dicalcique actif, d'aluminat de calcium riche en alumine et de sulfoaluminat de calcium. Selon la fiche technique VICAT Fr.

## Arroz

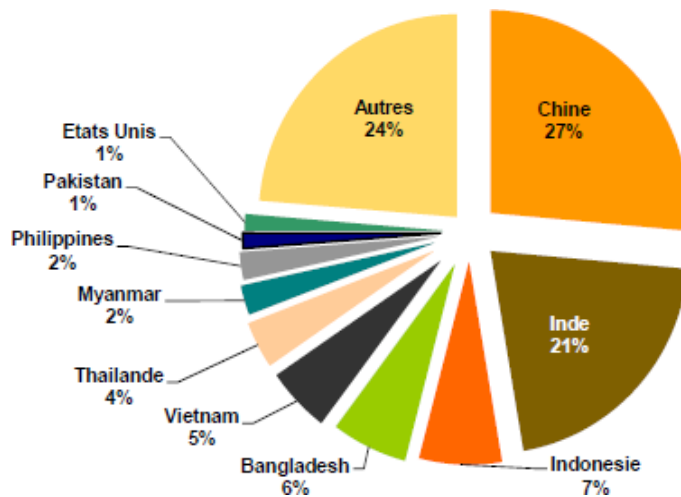
Se debe mencionar que en este proyecto no se utilizó el grano del arroz, sino la cáscara que es la fibra que vuelve el grano, sin embargo, es importante mencionar algunos datos estadísticos sobre la producción de arroz a nivel mundial para tener una percepción más clara de la posible disponibilidad de la materia prima en bio-concretos como el de este proyecto.

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la producción mundial de arroz para el periodo 2017-2018 fue de 509,4 millones de toneladas y ellos mismos dieron la estimación de 517,5 millones de toneladas para el periodo del 2018-2019.

## Riz

Il convient de mentionner que dans ce projet, le grain de riz n'a pas été utilisé, mais la balle qui est la partie qui entoure le grain, cependant, il est important de mentionner quelques données statistiques sur la production de riz dans le monde pour avoir une perception plus claire de la disponibilité de la matière première pour les bio-bétons comme ce projet.

Selon les données de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, la production mondiale de riz pour la période 2017-2018 était de 509,4 millions de tonnes et elles-mêmes estimaient 517,5 millions de tonnes pour la période de 2018- 2019.



**Figura 3.** Producción mundial de arroz proyectada para el 2019 (Fuente. Consejo Internacional de Cereales)

**Figure 3.** Production de riz dans le monde prévu pour 2019 (Source. Conseil international des céréales)

Por otro lado, según la estadística anual de Conarroz (Corporación Arrocera Nacional de Costa Rica) la producción de arroz para el periodo Julio 2018 – Junio 2019 fue de 155,05 toneladas métricas de arroz en granza seca y limpia. Mientras que la producción de este mismo grano en la Unión Europea fue de aproximadamente 2 957 000 toneladas, específicamente para Francia la producción se estimó de 72 000 toneladas según datos de (FranceAgriMer, 2019).

Estos datos dan una idea de la cantidad de arroz que se produce en las zonas de interés de este proyecto, aun así, se debe saber que estas cantidades son meramente del grano del arroz y la parte de interés de la planta para esta

D'un autre côté, selon les statistiques annuelles de Conarroz (National Rice Corporation of Costa Rica), la production de riz pour la période juillet 2018 - juin 2019 était de 155,05 tonnes de riz paddy. Alors que la production de ce même grain dans l'Union européenne était d'environ 2 957 000 tonnes, spécifiquement pour la France, la production était estimée à 72 000 tonnes selon les données de (FranceAgriMer, 2019).

Ces données donnent une idée de la quantité de riz qui est produite dans les zones d'intérêt de ce projet, cependant, il faut savoir que ces quantités proviennent simplement du grain du riz et la partie d'intérêt de la plante pour cette recherche est la matière qui recouvre le grain du riz comme la

investigación es la materia que cubre el grano del arroz, como se muestra en la figura 4, por lo que se podría pensar que la cantidad de cáscara de arroz no debe estar muy alejada a los datos previamente presentados.

montre la figure 4 vous pourriez donc penser que la quantité de balle de riz ne doit pas être très éloignée des données présentées précédemment.



**Figura 4.** Ilustración de la planta del arroz y sus partes (Fuente. Interior VICINI Republica Dominicana)  
**Figure 4.** Illustration du riz et de ses parties (Source. Intérieure VICINI, République dominicaine)

## Cáscara de arroz

Es la parte de la planta que recubre el grano del arroz, este suele ser un subproducto de la actividad agrícola arrocería y, a pesar de que para la industria alimenticia humana no tiene algún uso, debido a sus propiedades físicas y químicas se suele utilizar en diferentes actividades.

Entre sus características químicas se pueden mencionar, según el estudio realizado por (Valverde, Sarria, & Monteagudo, 2007) que los elementos y su rango de variabilidad que componen a la cáscara de arroz son; carbono 37,6 - 42,6 %, hidrógeno 4,7 - 5,78 %, nitrógeno 0,38 - 1,88 %, azufre 0,01 - 0,18 %, cenizas 16,93 - 24,6 %, importante de mencionar que el autor utilizó varios tipos de cáscara de arroz provenientes de Canadá, California y China. Además, estos mismos autores encontraron que al incinerar la cáscara de arroz en la ceniza se obtenía un 91,42 % del peso de la ceniza era Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) para cáscara proveniente de California y un 96,51 % del peso de la ceniza era Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) para cáscara proveniente de Colombia.

Por otro lado, entre las características físicas que se pueden encontrar de estudios de este material se puede destacar:

## Balle de riz

C'est la partie de la plante qui couvre le grain de riz, c'est généralement un sous-produit de la riziculture et bien qu'elle n'ait aucune utilité pour l'industrie alimentaire humaine, en raison de ses propriétés physiques et chimiques, elle est souvent utilisée dans différentes activités.

Parmi ses caractéristiques chimiques, on peut citer selon l'étude réalisée par (Valverde, Sarria, & Monteagudo, 2007) que les éléments et leur gamme de variabilité qui composent la balle de riz sont; carbone 37,6 - 42,6 %, hydrogène 4,7 - 5,78 %, azote 0,38-1,88 %, soufre 0,01 - 0,18 %, cendres 16,93 - 24,6 %, Il est important de mentionner que l'auteur a utilisé plusieurs types de balles de riz du Canada, de Californie et de Chine. De plus, ces mêmes auteurs ont constaté qu'en incinérant la cosse de riz dans les cendres, 91,42 % du poids des cendres obtenues étaient de la Silice ( $\text{SiO}_2$ ) pour la balle de riz de Californie contre 96,51 % pour la balle de riz de Colombie.

D'autre part, parmi les caractéristiques physiques que l'on peut trouver à partir des études de ce matériau, nous pouvons souligner :



**Tabla 1.****Características de la cáscara de arroz obtenida por diferentes investigadores**

Tableau 1.

Caractéristiques de la balle de riz obtenue par différents chercheurs

Característica Caractéristique	Valor Valeur	Autor Auteur
Densidad aparente no compactada	110	Mena Rodríguez, 2019
Densité apparent non compactée (kg/m <sup>3</sup> )	143	Serrano, Borrachero, Monzó & Paya, 2012
Absorción de agua con respecto a su propio peso	67 % (en 5 min)	Mena Rodríguez, 2019
Absorption d'eau par rapport à son propre poids	160 % (no específica tiempo) (temps non spécifié)	Nguyen D., 2017

Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos de diferentes tesis.

Source Propre élaboration, données obtenues de différentes thèses.

La cáscara de arroz se utiliza en diferentes actividades, a esta se le trata de sacar provecho de sus diferentes características mencionadas anteriormente. Por ejemplo, se tiene registro que en Colombia se utiliza como combustible para diferentes procesos industriales. Los autores (Quiceno Villada & Mosquera Gutiérrez, 2010) exponen también que una vez que este material es sometido a la calcinación a temperaturas entre 650 a 900 ° C en un tiempo estimado de 90 minutos, no solo se genera energía para los procesos sino que también se genera una ceniza del material el cual tiene alto contenido de sílice y este se ha utilizado como aditivos en concretos para aumentar las resistencias.

La balle de riz étant utilisée dans différentes, il s'agit de profiter des différentes caractéristiques mentionnées ci-dessus. Par exemple, il est noté qu'en Colombie, elle est utilisée comme combustible pour différents processus industriels. (Quiceno Villada & Mosquera Gutierrez, 2010) déclarent également qu'une fois que ce matériau est soumis à une calcination à des températures comprises entre 650 et 900 ° C en un temps estimé à 90 minutes, non seulement de l'énergie électrique peut être générée pour les processus, mais la cendre produite ayant une teneur élevée en silice peut être incorporée comme additif dans le béton pour augmenter sa résistance.

**Figura 5.** Ceniza de la cáscara de arroz. Fuente. Agronegocios KIMAJU SAC**Figure 5.** Cendre de la balle de riz. Source. Agro-entreprise KIMAJU SAC

En Costa Rica, según datos brindados por Conarroz Costa Rica, una de las empresas productoras de cemento utilizó por un tiempo este tipo ceniza como aditivo para las mezclas de concretos premezclados, pero su uso mermo, debido a la demanda que la cáscara de arroz tenía en el país para uso en la ganadería y también como combustible.

Para el caso de este proyecto de investigación, la cáscara de arroz proviene de la región francesa de Camarga, no se dio ningún tratamiento a la cáscara del arroz, debido que se quiere un proceso de producción del bio-concreto lo más amigable con el ambiente posible y, además, que su demanda de energía sea la más baja entre las posibilidades, esto con el fin principal de tener un material más ecológico.

## Densidad aparente de la cáscara de arroz

Anteriormente, se mencionó el valor de la densidad aparente no compactada que algunos investigadores proporcionan en sus trabajos donde involucran la cáscara de arroz.

Es necesario verificar esta característica, por lo que se parte de la definición de densidad de un material, la cual indica la cantidad de masa del material en cierto volumen. Por otro lado, la densidad aparente toma en cuenta los materiales porosos que pueden tener aire u otras sustancias en ellos que, a la vez, esta densidad es menor que la que se obtiene si el material se compactase y se tomara la medida de su densidad.

La ecuación 1 es la que se utiliza para obtener la densidad aparente de la cáscara de arroz utilizada en este proyecto.

$$\rho = \frac{M_{BdR}}{V_p} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

$\rho$ : densidad no compactada (kg/m<sup>3</sup>)

$M_{BdR}$ : masa de la cáscara de arroz (kg)

$V_p$ : volumen de la probeta (m<sup>3</sup>)

## Granulometría

Es necesario determinar la granulometría de la cáscara de arroz utilizada en el proyecto, la cual es la distribución por tamaños de partículas que tiene el material en estudio, por lo cual se tomó en cuenta lo indicado en la norma ASTM C136, esta

Au Costa Rica, selon les données fournies par Conarroz Costa Rica, l'une des sociétés productrices de ciment a utilisé ce type de cendres pendant un certain temps comme additif pour les mélanges de béton prémélangés, mais son utilisation a été réduite en raison de la demande de l'enveloppe de riz dans le pays pour le bétail et aussi comme combustible.

Dans le cas de ce projet de recherche, la balle de riz provient de la région française de Camargue, sans aucun traitement spécifique car un processus de production de bio-béton aussi respectueux que possible de l'environnement est souhaité et de plus, sa demande énergétique est la plus faible des possibilités, ceci dans le but principal d'avoir un matériau plus écologique.

## Densité apparente de la balle de riz

Auparavant, la valeur de la densité apparente non compactée que certains chercheurs fournissent dans leur travail sur des balles de riz a été mentionnée.

Il est nécessaire de vérifier cette caractéristique, elle est donc basée sur la définition de la densité d'un matériau qui indique la quantité de masse du matériau dans un certain volume. D'autre part, la densité apparente prend en compte les matériaux poreux qui peuvent contenir de l'air ou d'autres substances, ce qui en même temps cette densité est inférieure à celle obtenue si le matériau est compacté et la mesure de la densité sera prise.

L'équation 1 est celle utilisée pour obtenir la densité apparente de la balle de riz utilisée dans ce projet

$$\rho = \frac{M_{BdR}}{V_p} \quad \text{Eq.1}$$

Où:

$\rho$ : densité non compactée (kg/m<sup>3</sup>)

$M_{BdR}$ : masse de la balle de riz (kg)

$V_p$ : volume de l'échantillon (m<sup>3</sup>)

## Granulométrie

Il est nécessaire de déterminer la granulométrie de la balle de riz utilisée dans le projet, qui est la distribution par tailles de particules du matériau à l'étude, elle a donc été prise comme indiqué dans la norme ASTM C136, cette norme est pour les granulats minces et épais par des tamis

norma es para agregados finos y gruesos. Ciertamente la norma utilizada como referencia es para agregados pétreos, pero debido a que no se cuenta con una norma específica para este tipo de material en estudio y también por la forma de este se decide que la metodología y cálculos indicados en la norma mencionada son aplicables a la cáscara de arroz.

Como referencia inicial de la granulometría de la cáscara de arroz, se tiene los resultados de la investigación realizada por (Mena Rodríguez, 2019) donde obtuvo el mayor porcentaje de material retenido en el tamiz de 2,5 mm.

## Absorción de agua de la cáscara de arroz

Es importante determinar la cantidad de agua que puede ser absorbida por la cáscara de arroz a utilizar, para saber la cantidad correcta que podría absorber esta durante el proceso de mezclado del bio-concreto. Así, al cuantificar el agua necesaria en la mezcla del bio-concreto se tendrá la cantidad óptima para permitir la hidratación correcta del cemento y, a la vez, la que será absorbida por el material granular.

Se estudiará la capacidad de absorción de agua en diferentes tiempos y se utilizará la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de absorción con base al peso de la cáscara de arroz.

$$\% \text{ Absorción}_{BdR} = \left( \frac{M_H - M_S - X}{M_{BdR}} \right) \cdot 100$$

Ec.2

Donde:

$M_H$ : masa húmeda de la bolsa permeable más la cáscara de arroz.

$M_S$ : masa seca de la bolsa permeable más la cáscara de arroz.

$X$ : cantidad de agua absorbida por la bolsa permeable.

$M_{BdR}$ : masa seca de la cáscara del arroz ingresa en la bolsa permeable.

## Dosificación de bio-concreto

Se debe escoger dos dosificaciones del bio-concreto, una con el fin de cumplir con la exigencia mínima de la resistencia a la compresión para bloques no estructurales indicada en la norma INTE C89-2017 y la que cumpla con la resistencia mínima demanda para muros en el Protocolo de

standardisés. Certes, la norme utilisée comme référence est pour agrégats de pierre, parce qu'il n'y a pas de norme spécifique pour ce type de matériau à l'étude et aussi en raison de la forme de celle-ci, il est décidé que la méthodologie et les calculs indiqués dans la norme mentionnée sont applicables à la balle de riz.

Comme référence initiale de la granulométrie de la balle de riz, nous avons les résultats des recherches menées par (Mena Rodríguez, 2019) où il a obtenu le pourcentage le plus élevé de matière retenue dans le tamis de 2,5 mm.

## Absorption d'eau de la balle de riz

Il est important de déterminer la quantité d'eau qui peut être absorbée par la balle de riz à utiliser, pour connaître la quantité correcte qui pourrait être absorbée pendant le processus de mélange du bio-béton. Ainsi, lors de la quantification de l'eau nécessaire dans le mélange de bio-béton, la quantité optimale sera obtenue pour permettre l'hydratation correcte du ciment et en même temps celle qui sera absorbée par le matériau granulaire.

La capacité d'absorption d'eau sera étudiée à différents moments et la formule suivante sera utilisée pour calculer le pourcentage d'absorption en fonction du poids de la balle de riz.

$$\% \text{ Absorption}_{BdR} = \left( \frac{M_H - M_S - X}{M_{BdR}} \right) \cdot 100$$

Eq.2

Où:

$M_H$ : masse humide du sac perméable plus la balle de riz.

$M_S$ : masse sèche du sac perméable plus la balle de riz.

$X$ : quantité d'eau absorbée par le sac perméable.

$M_{BdR}$ : masse sèche de balle de riz dans le sac perméable

## Dosage de bio-béton

Deux dosages du bio-béton doivent être choisis, un afin de répondre à l'exigence minimale de résistance à la compression pour les blocs non structuraux indiquée dans la norme INTE C89-2017 et celle qui répond à la résistance minimale requise pour les murs en le Protocole d'Essai pour Mesurer la Performance de Seuil du Béton de Chanvre.

Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo.

La cuantificación de los materiales a utilizar en las dosificaciones está basada principalmente en dos parámetros:

1. La relación de masa de aglutinante por metro cúbico de agregado vegetal no compactado.
2. La relación de masa de agua / ligante.

Esto con el fin de tener una gama más amplia de escogencia para las dos dosificaciones finales, con respecto a la resistencia requerida y cantidad de materiales necesarios.

## Ligante

Se probaron 10 diferentes cantidades de ligante por un metro cúbico de cáscara de arroz no compactada, la nomenclatura utilizada para nombrar a cada dosificación fue por ejemplo F300 lo que indica es:

$$\text{Formulación} = \frac{300 \text{ kg ligante}}{1 \text{ m}^3 \text{ agregado granular}}$$

Las formulaciones estudiadas son: F250, F280, F300, F320, F350, F500, F550, F600, F700 y F750, esta variación se basó en los resultados obtenidos por el investigador (Mena Rodríguez, 2019), en su trabajo "Análisis de las propiedades físicas de concretos modificados con fibras vegetales: cáscara de arroz.". Por otra parte, en el presente proyecto se utiliza como ligante tipo cemento "cemento tipo II", debido a que el objetivo principal es realizar bloques con las dosificaciones escogidas y este tipo de ligante brinda mayores resistencias iniciales que un cemento tipo I usado en las mismas proporciones.

Lo anterior permite una primera hipótesis que con CEM II como ligante se podría permitir un desmolde de los bloques a tempranas edades. Además, el ligante tipo cal se utilizará para realizar algunas dosificaciones y analizar su resistencia a la compresión.

## Agua

La cantidad de agua por añadir en las dosificaciones a estudiar depende de dos factores importantes, uno es la cantidad de agua necesaria para la hidratación óptima del ligante, lo segundo es la cantidad de agua que el agregado puede absorber durante el proceso de fabricación de la mezcla.

La quantification des matériaux à utiliser dans les dosages est basée principalement sur deux paramètres :

1. Le ratio masse de liant par mètre cube de granulats végétal non compacté.
2. Le rapport de masse eau / liant.

Ceci afin d'avoir une gamme de choix plus large pour les deux dosages finaux, en ce qui concerne la résistance requise et la quantité de matériaux nécessaires.

## Liant

Dix quantités différentes de liant ont été testées par mètre cube de balle de riz non compactée, la nomenclature utilisée pour nommer chaque dose était, par exemple, F300 qui indique:

$$\text{Formulation} = \frac{300 \text{ kg liant}}{1 \text{ m}^3 \text{ agrégat granulaire}}$$

Les formulations étudiées sont : F250, F280, F300, F320, F350, F500, F550, F600, F700 et F750, cette sélection a été basée sur les résultats obtenus par (Mena Rodríguez, 2019), dans son travail «Analyse des propriétés physiques du béton modifié avec des fibres végétales : balle de riz». D'autre part, dans le présent projet, le liant de ciment de type ciment est utilisé «ciment de type II» car l'objectif principal est de fabriquer des blocs avec les dosages choisis et ce type de liant offre une plus grande résistance initiale qu'un ciment de type I utilisé dans les mêmes proportions.

Ce qui précède permet une première hypothèse qu'avec CEM II comme liant, le démoulage des blocs pourrait être possible à un âge précoce. De plus, le liant de type chaux sera utilisé pour effectuer certains dosages et analyser sa résistance à la compression.

## Eau

La quantité d'eau à ajouter aux dosages à étudier dépend de deux facteurs importants, l'un est la quantité d'eau nécessaire pour une hydratation optimale du liant, le second est la quantité d'eau que l'agrégat peut absorber pendant le processus de fabrication du mélange.

Sur la base des données d'absorption du matériau granulaire utilisé comme agrégat, il est possible de savoir combien d'eau doit être ajoutée

Con base en el dato de absorción del material granular utilizado como agregado, se puede saber cuánta agua se necesita agregar para que esté bien hidratado sin tomar parte del agua que el cemento necesita para su reacción química, también se debe tomar en cuenta cuanta humedad tiene este material, en este caso es de un 6 %. Por lo tanto, la cantidad de agua necesaria en la mezcla es calculada como:

$$Agua = \left( L \cdot \frac{A}{L} \right) + (G \cdot \%Abs_{BdR} - G \cdot \%H_{BdR}) \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

L: cantidad de ligante en la mezcla, en kg.

A/L: relación agua/liante de la mezcla.

G: cantidad de cáscara de arroz en la mezcla, en kg.

$\%Abs_{BdR}$ : porcentaje de absorción de agua de la cáscara de arroz a los 5 minutos.

$\%H_{BdR}$ : Porcentaje de humedad en la cáscara de arroz.

## Cantidad de materiales para 1 m<sup>3</sup> de bio-concreto

Es difícil determinar de antemano la cantidad de aglutinante, cáscara de arroz y agua necesaria para tener un metro cúbico de bio-concreto finalizado, porque el volumen final depende de la cantidad de aire integrado durante el proceso de mezclado. Por lo tanto, la composición final se determina posteriormente, una vez que se ha medido la densidad inicial de la mezcla mediante los pesos de los especímenes a realizar. También, es posible estimar la densidad final del bio-concreto con la densidad inicial de las mezclas.

Estos datos son importantes para tener una idea más clara de cuanto material requiere cada formulación y poder realizar un análisis no solo basado en el buen cumplimiento con la resistencia a la compresión demanda por la normativa, sino también tener un análisis del costo de producción.

pour qu'il soit bien hydraté sans prendre une partie de l'eau dont le ciment a besoin pour sa réaction chimique, ainsi que la quantité d'humidité dont il dispose ce matériau, dans ce cas, est de 6 %. Par conséquent, la quantité d'eau nécessaire dans le mélange est calculée comme suit:

$$Agua = \left( L \cdot \frac{A}{L} \right) + (G \cdot \%Abs_{BdR} - G \cdot \%H_{BdR})$$

Eq.3

Où:

L: quantité de liant dans le mélange, en kg.

A/L: rapport eau/liant du mélange.

G: quantité de balle de riz dans le mélange, en kg.

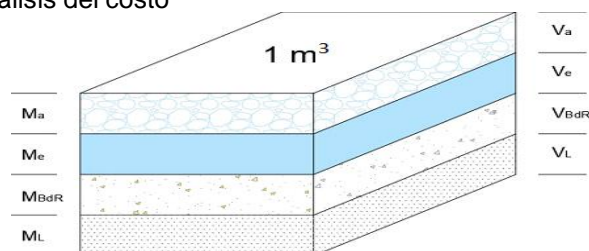
$\%Abs_{BdR}$ : pourcentage d'absorption d'eau de la balle de riz à 5 minutes.

$\%H_{BdR}$ : pourcentage d'humidité dans la balle de riz.

## Quantité de matériaux pour 1 m<sup>3</sup> de bio-béton

Il est difficile de déterminer à l'avance la quantité de liant, de balle de riz et d'eau nécessaire pour avoir un mètre cube de bio-béton finalisé, car le volume final dépend de la quantité d'air intégrée au cours du processus de mélange. On détermine donc la composition finale a posteriori une fois que la mesure de la densité initiale du mélange réalisée. Il est aussi possible d'estimer la densité finale du bio-concret avec la densité initiale des mélanges.

Ces données sont importantes pour avoir une idée plus précise de la quantité de matériau nécessaire à chaque formulation et pour pouvoir effectuer une analyse non seulement sur la base du bon respect de la résistance à la compression exigée par la réglementation mais également d'une analyse du coût de production.



**Figura 6.** Esquema de los materiales para 1 m<sup>3</sup> de bio-concreto con cáscara de arroz.

**Figure 6.** Schéma des matériaux pour 1 m<sup>3</sup> de bio-béton avec balle de riz.

Por consiguiente, las cantidades de los materiales para 1 m<sup>3</sup> de mezcla son calculadas de la siguiente manera:

$$M_t = \rho_0 \cdot 1m^3 \quad \text{Ec.4}$$

Donde:

M<sub>t</sub>: masa total de la mezcla, en kg.

ρ<sub>0</sub>: promedio de la densidad inicial de los especímenes realizados con la mezcla, en kg/m<sup>3</sup>.

$$L = \frac{M_t}{\left(\frac{G}{L} + 1 + \frac{A}{L}\right)} \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

M<sub>t</sub>: Masa total de la mezcla, en kg.

G/L: relación granular/ligante para 1 m<sup>3</sup> de mezcla.

A/L: relación agua/ligante para 1 m<sup>3</sup> de mezcla.

L: ligante en 1 m<sup>3</sup> de mezcla, en kg.

$$Agua = L \cdot \frac{A}{L} \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

L: ligante en 1 m<sup>3</sup> de mezcla, en kg.

A/L: relación agua/ligante para 1 m<sup>3</sup> de mezcla.

$$G = M_t - L - A \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

G: granular (cáscara de arroz), en kg.

M<sub>t</sub>: masa total de la mezcla, en kg.

L: ligante en 1 m<sup>3</sup> de mezcla, en kg.

A: agua en 1 m<sup>3</sup> de mezcla, en kg.

Una vez que se sabe la cantidad de los materiales se puede estimar la densidad final teórica de la mezcla con la siguiente ecuación:

$$\rho_{ft} = \frac{M_{L,1,3} + M_G}{1m^3} \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

M<sub>L</sub>: masa de ligante en 1 m<sup>3</sup> de mezcla, kg.

M<sub>G</sub>: masa de agua en 1 m<sup>3</sup> de mezcla, kg.

1,3 Factor de hidratación del ligante hidráulico.

## Bloques

Anteriormente, se mencionó que las formulaciones que busca este proyecto son para realizar elementos no estructurales tipo bloques para la construcción. En Costa Rica, existe una clasificación de los bloques tipo A, B o C dada por el Código Sísmico de Costa Rica 2010, en el cual

Par conséquent, les quantités de matériaux pour 1 m<sup>3</sup> de béton frais sont calculées comme suit :

$$M_t = \rho_0 \cdot 1m^3 \quad \text{Eq.4}$$

M<sub>t</sub> : masse totale du béton, en kg.

ρ<sub>0</sub> : moyenne de la densité initiale des échantillons réalisés avec le béton.

$$L = \frac{M_t}{\left(\frac{G}{L} + 1 + \frac{A}{L}\right)} \quad \text{Eq.5}$$

M<sub>t</sub> : masse totale (kg) d'1 m<sup>3</sup> de béton, en kg.

G/L : rapport massique granulat / liant pour 1 m<sup>3</sup>.

A/L : rapport massiques eau / liant.

L : masse de liant dans 1 m<sup>3</sup> de béton, en kg.

$$Agua = L \cdot \frac{A}{L} \quad \text{Eq.6}$$

L : masse de liant (kg) pour 1 m<sup>3</sup> de béton.

A/L : rapport massique eau / liant pour 1 m<sup>3</sup>.

$$G = M_t - L - A \quad \text{Eq.7}$$

G: masse de granulat (balle de riz), en kg, pour 1 m<sup>3</sup> de béton.

M<sub>t</sub> : masse d'1 m<sup>3</sup> de béton, en kg.

L : : masse de liant dans 1 m<sup>3</sup> de béton, en kg.

A: masse d'eau dans 1 m<sup>3</sup> de béton, en kg.

Une fois la quantité de matériaux connue, la densité finale théorique du mélange peut être estimée avec l'équation suivante :

$$\rho_{ft} = \frac{M_{L,1,3} + M_G}{1m^3} \quad \text{Eq.8}$$

M<sub>L</sub>: liant dans 1 m<sup>3</sup> de mélange, en kg.

M<sub>G</sub>: eau dans 1 m<sup>3</sup> de mélange, en kg.

1,3 facteur d'hydratation du liant hydraulique.

## Blocs

Auparavant, il a été mentionné que les formulations recherchées par ce projet consistent à fabriquer des blocs de construction non structurels. Au Costa Rica, il existe une classification des blocs de type A, B ou C donnée par le Code Sismique du Costa Rica 2010, dans las

resistencia a la compresión mínimas demandadas a los 28 días son:

laquelle les résistances à la compression minimales exigées à 28 jours sont :

**Tabla 2.**

**Resistencia a la compresión indicada en el apartado 14 del Código Sísmico de Costa Rica 2010.**

Tableau 2.

Résistance à la compression indiquée à l'article 14 du Code Sismique du Costa Rica 2010.

Bloque tipo/Bloc de type	RC muestra individual RC spécimen individuel		RC promedio de 3 muestras ensayadas RC moyen de 3 spécimens testés	
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)
A	120	11,8	133	13,0
B	80	7,8	90	8,8
C	70	6,9	75	7,4

Fuente. CSCR-10

Source. CSCR-10

Se descarta utilizar esta clasificación debido que los resultados obtenidos en investigaciones previas a este proyecto, como el de Mena Rodríguez, muestra que los bio-concretos con cáscara de arroz tienen a dar resistencias mucho menores que las de los concretos convencionales.

Por lo que se opta por clasificarlos como no estructurales y realizar el análisis de cumplimiento con normativa vigente para este tipo de clasificación, para el caso de Costa Rica se tiene la norma de INTECO "INTE C89 - 2017" la cual a su vez está basada en la norma ASTM C-129, estas indican que la resistencia mínima a la compresión por unidad individual ensayada es de 35,7 kg/cm<sup>2</sup> (3,5 MPa) y el promedio de tres unidades ensayadas debe ser de 42,22 kg/cm<sup>2</sup> (4,14 MPa). Esta norma aplica para los elementos de mampostería que se realizan con cemento tipo Portland, agregados livianos o de peso normal, se trabajará con esta norma puesto que no existe hasta el momento de presentación de este proyecto una norma específica para bio-concretos.

Para Francia, se toma como referencia lo indicado en: Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo, por ser lo más similar a una norma.

Est exclu d'utiliser cette classification car les résultats obtenus lors d'enquêtes antérieures à ce projet, comme celles de Mena Rodríguez, montrent que le bio-béton avec des balles de riz doit donner une résistance beaucoup plus faible que celles du béton conventionnel.

Par conséquent, il est décidé de les classer comme non structuraux et de procéder à l'analyse de conformité aux réglementations en vigueur pour ce type de classification, dans le cas du Costa Rica, il existe la norme INTECO «INTE C89-2017» qui, à son tour, est basée Dans la norme ASTM C-129, cela indique que la résistance à la compression minimale par unité individuellement essayée est de 35,7 kg/cm<sup>2</sup> (3,5 MPa) et la moyenne de trois unités testées doit être de 42,22 kg/cm<sup>2</sup> (4,14 MPa). Cette norme s'applique aux éléments de maçonnerie fabriqués avec du ciment Portland, des granulats légers ou de poids normal, cette norme sera travaillée car il n'y a pas de norme spécifique pour le bio-béton jusqu'au moment de la présentation de ce projet.

Pour la France, la référence est prise comme suit: Protocole d'essai pour la mesure de la performance de seuil du béton de chanvre, car il est le plus similaire à une norme.

**Tabla 3.****Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad mínimas de bio-concreto con fibra de cáñamo para diferentes usos**

Tableau 3.

Résistance à la compression minimale et module d'élasticité du béton biologique avec fibre de chanvre pour différentes utilisations

Uso/Utilisation	E (MPa)	Resistencia a la compresión (MPa) Résistance à la compression
Muro/Mur	15	0,2
Suelo/Sol	15	0,3
Recubrimiento/Enduit	3	0,05
Techo/Toit	20	0,3

Fuente. Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo.

Source. Protocole d'essai pour Mesurer la Performance de Seuil du Béton de Chanvre.

Por otro lado, un aspecto importante que hay que tener en cuenta son las dimensiones de los bloques, en Costa Rica típicamente se venden bloques con las siguientes dimensiones:

- 12 x 20 x 40 cm (Ancho, Alto, Largo)
- 15 x 20 x 40 cm (Ancho, Alto, Largo)
- 20 x 20 x 40 cm (Ancho, Alto, Largo)

D'autre part, un aspect important qui doit être pris en compte sont les dimensions des blocs, au Costa Rica, des blocs avec les dimensions suivantes sont généralement vendus:

- 12 x 20 x 40 cm (larguer, hauteur, long.)
- 15 x 20 x 40 cm (larguer, hauteur, long.)
- 20 x 20 x 40 cm (larguer, hauteur, long.)

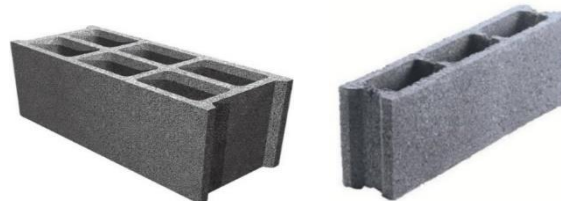
**Figura 7.** Bloques de diferentes anchos de uso típico en Costa Rica. (Fuente. Construplaza)**Figure 7.** Blocs de différentes largeurs pour une utilisation typique au Costa Rica. (Source. Construplaza)

Para el caso de Francia, se puede encontrar bloques elaborados con los materiales convencionales, pero, además, se puede encontrar bloques de bio-concreto con cáñamo, las dimensiones son:

- 15 x 20 x 50 cm (Ancho, Alto, Largo) bloque convencional.
- 10 x 20 x 50 cm (Ancho, Alto, Largo) bloque convencional.
- 12 x 30 x 60 cm (Ancho, Alto, Largo) bloque de bio-concreto de cáñamo.
- 20 x 30 x 60 cm (Ancho, Alto, Largo) bloque de bio-concreto de cáñamo.

Dans le cas de la France, vous pouvez trouver des blocs fabriqués avec des matériaux conventionnels, mais vous pouvez également trouver des blocs de bio-béton avec du chanvre, les dimensions sont :

- 15 x 20 x 50 cm (largeur, hauteur, longueur) bloc conventionnel.
- 10 x 20 x 50 cm (largeur, hauteur, longueur) bloc conventionnel.
- Bloc de 12 x 30 x 60 cm (largeur, hauteur, longueur) bloc chanvre.
- Bloc de 20 x 30 x 60 cm (largeur, hauteur, longueur) bloc chanvre.

**Figura 8.** Bloques de diferentes anchos de uso típico en Francia. (Fuente. Castorama)**Figure 8.** Blocs de différentes largeurs pour une utilisation typique au France. (Source. Castorama)





**Figura 9.** Bloques de bio-concreto de cáñamo de diferentes anchos disponibles en Francia. (Fuente. ISOHEMP)  
**Figure 9.** Blocs de bio-béton de chanvre de différentes largeurs disponibles en France. (Source. ISOHEMP)

## Ensayos mecánicos

Se vuelve necesario realizar algunos ensayos sobre elementos tipo cilindros, prismas y bloques para determinar el comportamiento mecánico del material ante diferentes esfuerzos y, a la vez, poder determinar la capacidad de este y compararlo con los mínimos establecidos de las normas de interés.

### Ensayo de resistencia a la compresión en cilindros

Se toma como referencia el procedimiento descrito en normas como NF EN 12390-3 en donde se describe el procedimiento del ensayo a la compresión en cilindros de concreto hidráulico, además, se toma en cuenta para el ensayo de compresión lo indicado en el Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo.

Ciertamente, en este último protocolo mencionado realizan algunos pasos diferentes a la norma NF antes mencionada durante la preparación de los cilindros antes de ser ensayados a la compresión, debido a que, según el protocolo, se ensayan los cilindros a 60 y 90 días y además 48 horas antes del ensayo se ingresan los cilindros al horno a una temperatura constante de 50 °C.

Como ambas referencias son para materiales similares, pero no el que se estudia en el proyecto, se decide probar con ambos procedimientos y comparar resultados y con esto poder concluir con cual procedimiento es mejor preparar y ensayar los cilindros de bio-concreto con cáscara de arroz.

## Essais mécaniques

Il devient nécessaire d'effectuer certains tests sur des éléments de type cylindre, des prismes et des blocs pour déterminer le comportement mécanique du matériau à différents efforts et en même temps pour déterminer sa capacité et la comparer avec les normes d'intérêt minimales établies.

### Essai de résistance à la compression de cylindres

La procédure décrite dans les normes telles que NF EN 12390-3 est prise comme référence où la procédure de l'essai de compression dans des vérins hydrauliques en béton est décrite, en plus de l'essai de compression, ce qui est indiqué dans le Protocole d'essai pour mesurer la performance de seuil du béton de chanvre.

Cependant, dans ce dernier protocole mentionné, les étapes sont différentes de celles indiquées dans la norme NF lors de la préparation des cylindres avant les tests de compression, car selon ce protocole, les cylindres sont à tester à 60 et 90 jours (et pas 28 jours) et doivent, 48 heures avant l'essai, être placés dans un four à une température constante de 50 °C.

Comme les deux références sont pour des matériaux similaires, mais pas celui étudié dans le projet, il est décidé de tester avec les deux procédures et de comparer les résultats pour pouvoir conclure avec quelle procédure ou quelles recommandations il sera préférable de préparer et de tester les cylindres en béton biologique avec de la balles de riz.

La resistencia a la compresión en cilindros se calcula con la siguiente ecuación.

$$RC = \frac{F_c \cdot 10}{A_p} \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

RC: resistencia a la compresión, en MPa.

F<sub>c</sub>: fuerza de compresión soportada, en kilo Newtons.

A<sub>p</sub>: área de apoyo de la carga, en cm<sup>2</sup>.

Además, la deformación sufrida por los cilindros, se calcula con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{(P_0 - P_i)}{h} \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

ε: deformación del cilindro, adimensional.

P<sub>0</sub>: posición inicial del pistón, al iniciar la prueba sobre el cilindro, en cm.

P<sub>i</sub>: posición en el instante de medición del pistón, en cm.

h: altura inicial del cilindro, en cm.

## Ensayo de flexión

Este ensayo se realiza con base a la norma NF EN 12390-5, el espécimen a ensayar es un prisma de 14 x 14 x 56 cm (Ancho, Alto, Largo) se aplica una fuerza transmitida mediante dos rodillos a un desplazamiento de 5 mm/min, el prisma se apoya en dos soportes simples tipo rodillo, como se puede observar en la figura 10.

La résistance à la compression dans les cylindres est calculée avec l'équation suivante.

$$RC = \frac{F_c \cdot 10}{A_p} \quad \text{Eq.9}$$

Où:

RC: résistance à la compréhension, en MPa.

F<sub>c</sub>: force de compression supportée, en kilo Newtons.

A<sub>p</sub>: surface portante, en cm<sup>2</sup>.

De plus, la déformation subie par les cylindres est calculée avec l'équation suivante:

$$\varepsilon = \frac{(P_0 - P_i)}{h} \quad \text{Eq.10}$$

Où:

ε: déformation du cylindre, sans dimension.

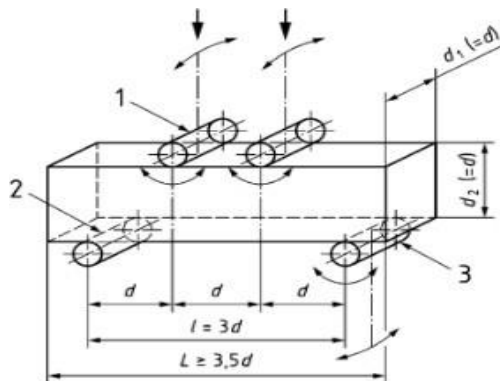
P<sub>0</sub>: position initiale du piston, au début de l'essai sur le cylindre, en cm.

P<sub>i</sub>: position au moment de la mesure du piston, en cm.

h: hauteur initiale du cylindre, en cm.

## Essai de flexion

Ce test est réalisé sur la base de la norme NF EN 12390-5, l'échantillon à tester est un prisme de 14 x 14 x 56 cm (Largeur, Hauteur, Longueur) une force transmise par deux rouleaux est appliquée avec un déplacement de 5 mm/min, le prisme repose sur deux supports simples à rouleaux comme le montre la figure 10.



**Figura 10.** Dimensiones del prisma y posiciones de los rodillos según norma NF EN 12390-5 (Fuente. NF EN 12390-5)

**Figure 10.** Dimensions du prisme et position des rouleaux selon la norme NF EN 12390-5 (Source. NF EN 12390-5)

La resistencia a la flexión es calculada mediante la siguiente ecuación:

$$f_{ct} = \frac{F.l}{d_1.d_2^2} \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

$f_{ct}$ : resistencia a la flexión.

F: carga máxima, en Newtons.

l: distancia entre rodillos inferiores, en mm.

$d_1$  y  $d_2$ : ancho y largo respectivamente, en mm.

Por último, el desplazamiento sufrido por el prisma, durante en la aplicación de la carga es calculado con la siguiente ecuación:

$$\text{Desplazamiento} = (P_0 - P_i) \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

$P_0$ : posición inicial del pistón, al iniciar la prueba sobre el prisma, en mm.

$P_i$ : posición en el instante de medición del pistón, en mm.

## Ensayo de compresión en bloques

El ensayo de compresión en bloques se basa en lo dictado en la norma ASTM C1314, la cual es aplicable para bloques de albañilería sin hacer excepciones si estos son estructurales o no.

Se toma en cuenta lo dictado en esta norma para corregir la fuerza máxima soportada por los bloques, en donde el factor de corrección de carga depende meramente de las dimensiones de la altura y el espesor (ancho) del elemento a ensayar, la relación se denomina  $h_p/t_p$ .

Una vez que se obtiene este valor, se ingresa a la tabla de factores de corrección y el factor obtenido se debe de multiplicar por la carga soportada por el elemento. Se debe de fallar al menos tres especímenes y se debe promediar su resistencia para reportarla como la resistencia máxima soportada por los bloques del lote que representan los especímenes.

La résistance à la flexion est calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$f_{ct} = \frac{F.l}{d_1.d_2^2} \quad \text{Eq.11}$$

Où:

$f_{ct}$ : résistance à la flexion.

F: charge maximale, en Newtons.

l: distance entre les rouleaux inférieurs, en mm.

$d_1$  et  $d_2$ : dimensions latérales indiquées sur la figure 10, en mm.

Enfin, le déplacement subi par le prisme, lors de l'application de la charge est calculé avec l'équation suivante:

$$\text{Déplacement} = (P_0 - P_i) \quad \text{Eq.12}$$

Où:

$P_0$ : position initiale du piston, au début de l'essai sur le prisme, en mm.

$P_i$ : position au moment de la mesure du piston, en mm.

## Essai de compression sur blocs

L'essai de compression sur blocs est basé sur les dispositions de la norme ASTM C1314, qui s'applique aux blocs de maçonnerie sans faire d'exception, qu'ils soient structurels ou non.

Les dispositions de cette norme sont prises en compte pour corriger la force maximale supportée par les blocs, où le facteur de correction de charge dépend uniquement des dimensions de la hauteur et de l'épaisseur (largeur) de l'élément à tester, le rapport est appelé comme  $h_p/t_p$ .

Une fois cette valeur obtenue, le tableau des facteurs de correction est saisi et le facteur obtenu doit être multiplié par la charge supportée par l'élément. Au moins trois échantillons doivent être défaillants et leur résistance doit être moyennée pour la signaler comme étant la résistance maximale supportée par les blocs de lot représentant les échantillons.

**Tabla 4.**

**Factor de corrección de altura/espesor para mampostería fuerza compresiva.**

Tableau 4.

Facteur de correction hauteur/épaisseur pour la résistance à la compression de la maçonnerie.

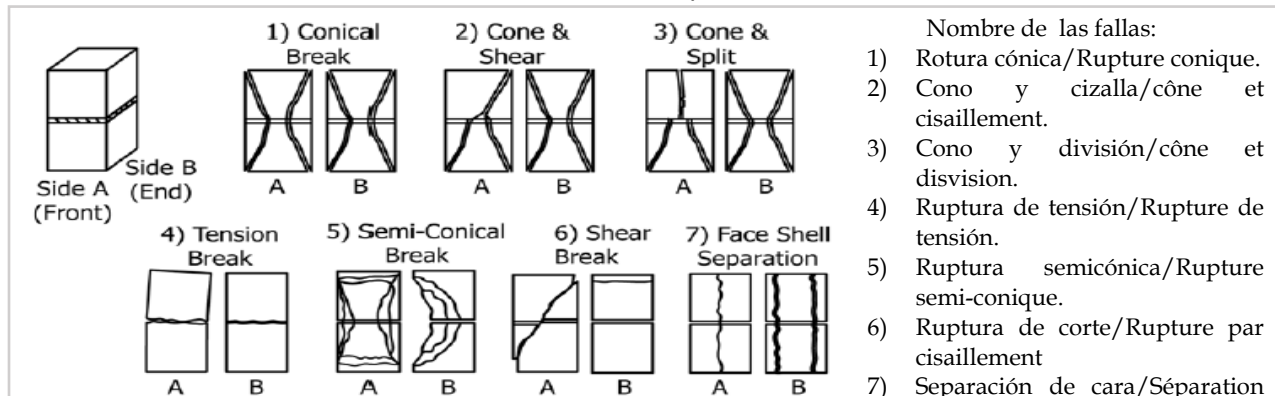
$h_p/t_p$	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Factor de corrección	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	1,22

Fuente. Norma ASTM C1314

Source. Norme ASTM C1314

Además, la norma presenta posibles fallas típicas en los bloques que se someten a compresión, lo que permite comparar las fallas de los bloques a ensayar en este proyecto con las fallas presentadas en la norma que se está tomando como referencia.

De plus, la norme présente des défaillances typiques possibles dans les blocs qui sont soumis à la compression, ce qui permet de comparer les défaillances des blocs à tester dans ce projet avec les défaillances présentées dans la norme étant prises comme référence.



**Figura 11.** Fallas típicas en mampostería a compresión según norma ASTM C1314 (Fuente. ASTM C1314)

**Figure 11.** Défaillances typiques dans la maçonnerie par compression selon ASTM C1314 (Source. ASTM C1314)

Se estima la fuerza máxima que los bloques pueden soportar basados en la fuerza máxima a compresión soportada por los cilindros de la formulación escogida, como:

$$f_{cbest} = \frac{\sigma_{mc}}{F_c} \cdot \frac{A_{ab}}{1000} \quad \text{Ec.13}$$

Donde:

$f_{cbest}$ : fuerza compresión bloques estimada, en kN.

$\sigma_{mc}$ : resistencia a la compresión máxima en cilindros, en MPa.

$A_{ab}$ : área de apoyo de carga en el bloque, mm<sup>2</sup>.

Resistencia a la compresión en bloques corregida, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = \sigma \cdot \frac{h_p}{t_p} \quad \text{Ec.14}$$

Donde:

$\sigma_c$ : resistencia a la compresión corregida en bloques, en MPa.

$\sigma$ : resistencia a la compresión obtenida, en MPa.

$h_p/t_p$ : factor de corrección según tabla 4.

La fuerza máxima que los bloques pueden soportar se estima sobre la base de la fuerza de compresión máxima soportada por los cilindros de la formulación elegida, como sigue:

$$f_{cbest} = \frac{\sigma_{mc}}{F_c} \cdot \frac{A_{ab}}{1000} \quad \text{Eq.13}$$

Où:

$f_{cbest}$ : force compression blocs estimé, kN.

$\sigma_{mc}$ : résistance à la compression maximale sur cylindres, MPa.

$A_{ab}$ : surface desupport de charge sur le bloc, mm<sup>2</sup>.

La résistance à la compression en blocs corrigée, est obtenue avec l'équation suivante:

$$\sigma_c = \sigma \cdot \frac{h_p}{t_p} \quad \text{Eq.14}$$

Où:

$\sigma_c$ : résistance à la compression corrigée en blocs, en MPa.

$\sigma$ : résistance à la compression obtenue, en MPa.

$h_p/t_p$ : facteur de correction selon le tableau 4.

## Ensayos físicos

Ensayos como el de efusividad y conductividad térmica, asimismo la capacidad de transmisión de vapor de agua (wetcup), por último, la capacidad de amortiguación de agua (MBV), permiten caracterizar de manera higrotérmica el material en estudio.

Tener claridad de las capacidades del material como aislante térmico y su respuesta ante la interacción con la humedad permite compararlo con materiales similares ya disponibles en el mercado.

De estudios previos, se tiene que el comportamiento de concretos que incluyen fibras naturales como el cáñamo o la cáscara de arroz, tienen buen desempeño como aislantes térmicos. A continuación, se describen algunos términos de importancia con respecto a los ensayos físicos realizados.

### Conductividad térmica

Cada material tiene cierta capacidad de transportar el calor a través de su masa, este transporte de energía se da en dirección a la temperatura más baja, como lo indica la segunda ley de la termodinámica.

La conductividad térmica denotada como  $\lambda$  (W/m.K) es la capacidad que tiene un material para conducir el calor a través de sí, esta relaciona el transporte de calor por unidad de tiempo ( $dQ/dt$ ) con un gradiente de temperatura ( $\Delta T/\Delta x$ ) en un área dada, entre más bajo sea el valor de  $\lambda$  el material tendrá mejor característica como aislante térmico.

## Essais physiques

Des essais tels que l'effusivité et la conductivité thermique, ainsi que la capacité de transmission de vapeur d'eau (wetcup), enfin, la capacité d'amortissement de l'eau (MBV), permettent de caractériser le matériau étudié de manière hygrothermique.

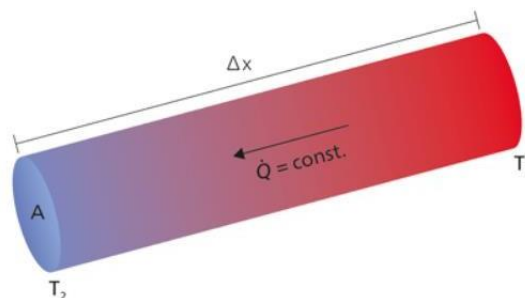
La clarté des capacités du matériau en tant qu'isolant thermique et sa réponse à l'interaction avec l'humidité lui permettent d'être comparé à des matériaux similaires déjà disponibles sur le marché.

D'après les études précédentes, le comportement du béton qui comprend des fibres naturelles telles que le chanvre ou la balle de riz, a de bonnes performances en tant qu'isolants thermiques. Ensuite, certains termes importants sont décrits en ce qui concerne les tests physiques effectués.

### Conductivité thermique

Chaque matériau a une certaine capacité à transporter la chaleur à travers sa masse, ce transport d'énergie est donné dans le sens de la température la plus basse, comme l'indique la deuxième loi de la thermodynamique.

La conductivité thermique notée  $\lambda$  (W/m.K) est la capacité d'un matériau à conduire la chaleur à travers lui, cela met en relation le transport de chaleur par unité de temps ( $dQ/dt$ ) avec un gradient de température ( $\Delta T/\Delta x$ ) dans une zone donnée, plus la valeur de  $\lambda$  est faible, plus le matériau aura une meilleure caractéristique d'isolation thermique.



**Figura 12.** Diagrama de flujo de calor constante en un cuerpo. (Fuente. NETZSCH, 2019)

**Figure 12.** Diagramme du flux de chaleur constant dans un corps. (Source. NETZSCH, 2019)

Otra característica térmica importante por conocer es la velocidad con la que el material reacciona ante el cambio de temperatura, en termodinámica se le denomina difusividad térmica  $\alpha$  (mm<sup>2</sup>/s).

Mediante el medidor de conductividad con cable caliente, el valor de la conductividad térmica ( $\lambda$ ) es obtenido de manera directa, mientras que el valor de la difusividad térmica se obtiene mediante siguiente la ecuación:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_p} \quad \text{Ec.15}$$

Donde:

$\alpha$ : difusividad térmica (mm<sup>2</sup>/s)

$\lambda$ : conductividad térmica (W/m.K)

$\rho$ : densidad del material (kg/m<sup>3</sup>)

$C_p$ : capacidad calorífica (J/kg.K).

## Efusividad térmica

Es la capacidad del material para absorber la energía en forma de calor, lo que indica cuánto flujo de calor el material es capaz de absorber. Este valor es obtenido de manera directa mediante el ensayo de cable caliente y es denotado mediante  $\beta$  y sus unidades corresponden a (J/(K.m.s<sup>1/2</sup>)).

Lo que permitiría conocer a su vez la capacidad calorífica de manera indirecta mediante la siguiente ecuación:

$$C_p = \frac{\beta^2}{\rho \cdot \lambda} \quad \text{Ec.16}$$

Donde:

$C_p$ : capacidad calorífica (J/kg.K).

$\beta$ : efusividad térmica (J/(K.m.s<sup>1/2</sup>)).

$\lambda$ : conductividad térmica (W/m.K).

$\rho$ : densidad del material (kg/m<sup>3</sup>).

En la tabla 5 se presentan los datos térmicos antes mencionados para algunos materiales de construcción.

Una otra característica térmica importante a conocer es la velocidad a la que el material reacciona ante el cambio de temperatura, en termodinámica se le denomina difusividad térmica  $\alpha$  (mm<sup>2</sup>/s).

En utilizando el conductímetro a fil chaud, la valeur de conductivité thermique ( $\lambda$ ) est obtenue directement, tandis que la valeur de diffusivité thermique est obtenue en suivant l'équation :

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_p} \quad \text{Eq.15}$$

Où:

$\alpha$ : diffusivité thermique (mm<sup>2</sup>/s)

$\lambda$ : conductivité thermique (W/m.K)

$\rho$ : densité du matériau (kg/m<sup>3</sup>)

$C_p$ : capacité calorifique (J/kg.K).

## Effusivité thermique

C'est la capacité du matériau à absorber l'énergie sous forme de chaleur, qui indique la quantité de flux de chaleur que le matériau est capable d'absorber. Cette valeur est obtenue directement par l'essai du fil chaud et est notée  $\beta$  et ses unités correspondent à (J/(K.m. s<sup>1/2</sup>)).

Ce qui permettrait de connaître à son tour la capacité calorifique indirectement par l'équation suivante:

$$C_p = \frac{\beta^2}{\rho \cdot \lambda} \quad \text{Eq.16}$$

Ou :

$C_p$ : capacité calorifique (J/kg.K).

$\beta$ : effusivité thermique (J/(K.m.s<sup>1/2</sup>)).

$\lambda$ : conductivité thermique (W/m.K).

$\rho$ : densité du matériau (kg/m<sup>3</sup>).

Le tableau 5 montre les données thermiques mentionnées ci-dessus pour certains matériaux de construction

**Tabla 5.****Propiedades térmicas de materiales utilizados en construcción**

Tableau 5.

Propriétés thermiques des matériaux utilisés dans la construction

Material Matériau	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m.K)	$\beta$ (J/(K.m.s <sup>1/2</sup> ))	$C_p$ (J/kg.K)	$\alpha$ (mm <sup>2</sup> /s)
Paneles de corcho expandido *	125	0,049	98	1 560	0,25
Panneaux en liège expansé					
Panel de fibra de madera *	50	0,039	64	2 100	0,37
Panneau en fibre de bois					
Panel de lana de cáñamo *	40	0,040	52	1 700	0,59
Panneau en fibre de chanvre					
Panel de lana de vidrio *	35	0,039	37	1 030	1,08
Panneau en fibre de verre					
Poliestireno expandido *	15	0,039	29	1 450	1,79
Polystyrène expansé					
Madera de pino ** Bois de pin	640	0,148	487	2 512	0,08
Yeso ** Plâtre	1 440	0,488	767	837	0,09
Concreto celular ** Béton cellulaire	800	0,220	482	880	0,42
Concreto pesado ** Béton lourd	2 300	1,750	1 920	920	0,83
Granito ** Granit	2 500	3,500	2 570	754	1,86
Mármol ** Marbre	2 590	2,900	2 450	2 590	1,4
Aluminio ** Aluminium	2 800	160	20 000	896	63,8
Cobre ** Cuivre	8 900	389	36 500	385	113

Fuente.\*Tabla comparativa del cambio de fase de los mejores aislantes térmicos. (Picblue Habitat Durable , 2019)

\*\*Lista de materiales y sus propiedades térmicas a temperatura ambiente. (González, 2018).

Source. \*Tableau comparatif des changements de phase des meilleurs isolants thermiques. (Picblue Habitat Durable, 2019)

\*\* Liste des matériaux et de leurs propriétés thermiques à température ambiante. (González, 2018).

**Teoría de desfase térmico**

Al obtener los datos térmicos del material también se puede determinar, el valor del desfase térmico capaz de tener el material en estudio.

El desfase térmico, los autores (Turégano, J. A., Hernández, M. A., & García, F., 2003), lo definen como el tiempo que tardará la temperatura exterior en penetrar al interior de la edificación. Además, mencionan que de las características térmicas de los materiales utilizados para el encerramiento de la edificación juegan un papel importante para el desempeño que estos ofrecen

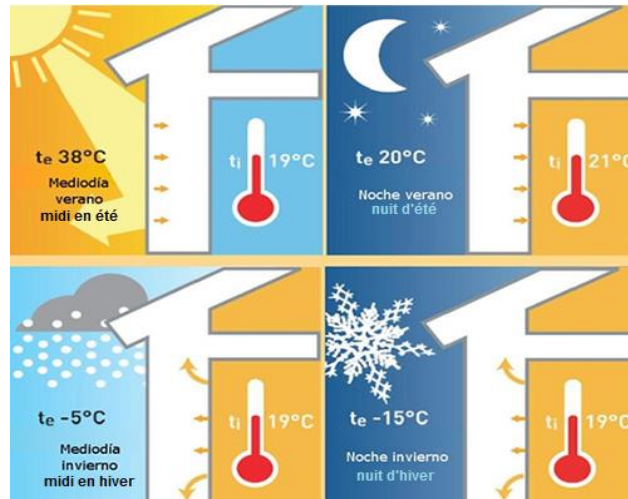
**Théorie du déphasage thermique**

En obtenant les données thermiques du matériau, la valeur du déphasage thermique capable d'avoir le matériau à l'étude peut également être déterminé.

Le déphasage thermique, les auteurs (Turégano, J. A., Hernández, M. A., et García, F. (2003)), le définissent comme le temps nécessaire à la température extérieure pour pénétrer à l'intérieur du bâtiment. De plus, ils mentionnent que les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés pour l'enceinte du bâtiment jouent un rôle

ante los cambios térmicos, por lo que, no sería correcto pensar que una pared por ser más gruesa que otra va a proporcionar mayor desfase térmico.

important pour les performances qu'ils offrent face aux changements thermiques, il ne serait donc pas correct de penser qu'un mur est plus épais qu'un autre fournira un plus grand déphasage thermique.



**Figura 13.** Posibles transferencias de temperatura externa-interna en diferentes situaciones. (Fuente. ecogreenhome, 2019)

**Figure 13.** Transferts de température externe-interne possibles dans différentes situations. (Source. ecogreenhome, 2019)

Ahora, se presenta el procedimiento teórico (estudio de caso e hipótesis) y las ecuaciones utilizadas para obtener la ecuación de desfase térmico.

Situándose en el caso unidireccional, de modo que el flujo de calor en el cuerpo se propaga en un solo sentido (de  $T_{\text{mayor}}$  a  $T_{\text{menor}}$ ) y en un régimen armónico (variación sinusoidal de las temperaturas exterior, interior y en la pared). La ecuación de calor en la pared viene dada por:

On présente maintenant la procédure théorique (cas d'étude et hypothèses) et les équations utilisées pour obtenir l'équation de déphasage.

On se place dans le cas unidirectionnel, de tel sorte que le flux de chaleur sur le corps se propage dans une seule (de  $T_{\text{majeur}}$  à  $T_{\text{mineur}}$ ) et dans un régime harmonique (variation sinusoidale des températures extérieures, intérieures et dans le mur). L'équation de la chaleur dans le mur est donnée par:

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \rho \cdot C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{Ec.17}$$

$$\frac{\lambda}{\rho \cdot C_p} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{Ec.17.1}$$

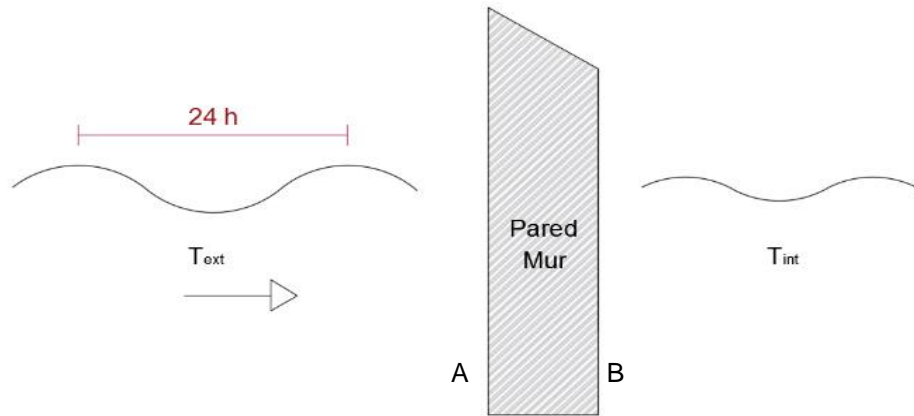


Usando la ecuación 15 en la ecuación 17.1, se tiene:

Utilisation de l'équation 15 dans l'équation 17.1, nous avons

$$\alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{Ec.17.2}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad \text{Ec.17.3}$$



**Figura 14.** Caso de estudio de transferencia de temperatura en un muro. (Fuente. Elaboración propia)

**Figure 14.** Cas d'étude de transfert de température sur un mur. (Source. Élaboration propre)

En situación periódica, se tiene:

En régime périodique, nous avons:

$$T(x, t) = T(x)e^{i\omega t} \quad \text{Ec.18}$$

Usando la ecuación 18 en la ecuación 17.3:

Utilisation de l'équation 18 dans l'équation 17.3:

$$T''(x) - \frac{i\omega \cdot C_p \cdot \rho}{\lambda} T(x) = 0 \quad \text{Ec.19}$$

Forma de la solución general es:

La forme de la solution générale est:

$$T(x) = e^{\delta x} \quad \text{Ec.20}$$

$$T'(x) = \delta \cdot e^{\delta x} \quad \text{Ec.20.1}$$

$$T''(x) = \delta^2 \cdot e^{\delta x} \quad \text{Ec.20.2}$$

Usando la ecuación 20.1 y 20.2 en la ecuación 19:

Utilisation de l'équation 20.1 et 20.2 dans l'équation 19:

$$\delta^2 \cdot e^{\delta x} - \frac{i\omega \cdot C_p \cdot \rho}{\lambda} \cdot e^{\delta x} = 0 \quad \text{Ec.21}$$

$$\left( \delta^2 - \frac{i\omega \cdot C_p \cdot \rho}{\lambda} \right) \cdot e^{\delta x} = 0 \quad \text{Ec.21.1}$$

$$\delta^2 = \frac{i\omega \cdot C_p \cdot \rho}{\lambda} \quad \text{Ec.21.2}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\omega \cdot C_p \cdot \rho}{\lambda}} \cdot i \quad \text{Ec.21.3}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\omega \cdot C_p \cdot \rho}{\lambda}} \cdot e^{\frac{i\pi}{4}} \quad \text{Ec.21.4}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\omega \cdot C_p \cdot \rho}{\lambda}} \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + i\frac{\sqrt{2}}{2}\right) \quad \text{Ec.21.5}$$

Se tiene la solución general

D'où la Solution générale :

$$T(x) = T_1 \cdot e^{i\omega t + \delta x} + T_2 \cdot e^{i\omega t - \delta x}$$

$$T(x) = T_1 \cdot e^{i\omega \left(t + \sqrt{\frac{\omega \cdot C_p \cdot \rho}{2 \cdot \lambda}} \cdot x\right)} \cdot e^{\sqrt{\frac{\omega \cdot C_p \cdot \rho}{2 \cdot \lambda}} \cdot x} + T_2 \cdot e^{i\omega \left(t - \sqrt{\frac{\omega \cdot C_p \cdot \rho}{2 \cdot \lambda}} \cdot x\right)} \cdot e^{-\sqrt{\frac{\omega \cdot C_p \cdot \rho}{2 \cdot \lambda}} \cdot x}$$

1/velocidad de flujo de calor

1/vitesse du flux de chaleur

Por lo tanto, la velocidad de flujo de calor:

Donc, la vitesse du flux de chaleur

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{\omega \cdot C_p \cdot \rho}} \quad \text{Ec.22}$$

Donde:

$$\omega: \frac{2 \cdot \pi}{T_{24H}} \quad (1/s).$$

Où:

$$\omega: \frac{2 \cdot \pi}{T_{24H}} \quad (1/s).$$

Finalmente, conociendo el espesor del muro y las características térmicas involucradas en la velocidad, el tiempo de desfase térmico se puede calcular con la siguiente ecuación:

Enfin, connaissant l'épaisseur de mur et la vitesse, le temps de retard thermique peut donc être calculé avec l'équation suivante:

$$T_{desfase}^{24h} = \frac{d}{\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{\omega \cdot C_p \cdot \rho}}} = d \cdot \sqrt{\frac{T_{24h} \cdot C_p \cdot \rho}{4 \cdot \pi \cdot \lambda}} \quad \text{Ec.23}$$

Donde:

d : espesor de la pared (m).

T<sub>24h</sub>: tiempo entre temperaturas máximas (s).

C<sub>p</sub>: capacidad específico del material (J/kg.K).

λ: conductividad térmica (W/m.K).

ρ: densidad del material (kg/m<sup>3</sup>).

Où:

d: épaisseur de mur (m).

T<sub>24h</sub>: temps entre les températures maximales (s).

C<sub>p</sub>: capacité spécifique du matériau (J/kg.K).

λ: conductivité thermique (W/m.K).

ρ: densité du matériau (kg/m<sup>3</sup>).

## Capacidad de amortiguación de agua (MBV)

El ensayo del valor de la capacidad de amortiguación del agua (MBV) por sus siglas en inglés, es realizado para determinar la capacidad que tiene un material para intercambiar humedad con respecto a la del ambiente, el ensayo está basado en el método de ensayo NORDTEST.

Es de interés determinar el comportamiento hidrotérmico dinámico que las dosificaciones escogidas para los bloques muestran, puesto como lo explican (Rode, Peuhkuri, Time, Svennberg, & Ojanen, 2006) el valor de la capacidad de amortiguación del agua indica la capacidad que un material tiene para moderar los cambios de humedad en el ambiente ya que la humedad relativa dentro de un espacio de uso diario puede generar confort o incomodidad al usuario.

El valor práctico de MBV para un material tiene unidades de  $(\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{RH}))$ , se obtiene después de haber sometido la muestra del material a cambios de humedad relativa por periodos de 8 y 16 horas en donde se aplica una alta humedad (75 %) en un periodo de 8 horas y una baja (33 %) en 16 horas, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$MBV = \frac{\Delta m}{A \cdot (HR_h - HR_b)} \quad \text{Ec.24}$$

Donde:

$\Delta m$ : cambio de masa del material durante en 24 horas, en g.

A: área de la superficie expuesta, en  $\text{m}^2$ .

$HR_h$ : humedad relativa alta, en %.

$HR_b$ : humedad relativa baja, en %.

Por último, el procedimiento NORDTEST sugiere una clasificación del rendimiento del material ante la amortiguación del agua, la clasificación se presenta en la siguiente tabla.

## Capacité tampon hydrique (MBV)

L'essai de valeur de la capacité d'amortissement de l'eau (MBV), pour son acronyme en anglais, est effectué pour déterminer la capacité d'un matériau à échanger l'humidité par rapport à celle de l'environnement, l'essai est basé sur la méthode de test NORDTEST.

Il est intéressant de déterminer le comportement hydrothermal dynamique que montrent les dosages choisis pour les blocs, comme l'expliquent les auteurs (Rode, Peuhkuri, Time, Svennberg, & Ojanen, 2006) la valeur de la capacité d'amortissement de l'eau indique la capacité qu'un matériau doit modérer les changements d'humidité dans l'environnement car l'humidité relative dans un espace d'utilisation quotidienne peut générer du confort ou de l'inconfort pour l'utilisateur.

La valeur pratique du MBV pour un matériau a des unités de  $(\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR}))$ , il est obtenu après avoir soumis l'échantillon du matériau à des changements d'humidité relative pendant des périodes de 8 et 16 heures où une humidité élevée est appliquée (75 %) sur une période de 8 heures et un minimum (33 %) en 16 heures, et est calculé à l'aide de l'équation suivante:

$$MBV = \frac{\Delta m}{A \cdot (HR_h - HR_b)} \quad \text{Eq.24}$$

Ou :

$\Delta m$ : changement de masse du matériau pendant en 24 heures, en g.

A: surface exposée, en  $\text{m}^2$ .

$HR_h$ : humidité relative élevée, en %.

$HR_b$ : faible humidité relative, en %.

Enfin, la procédure NORDTEST propose une classification des performances du matériau face à l'amortissement de l'eau, la classification est présentée dans le tableau suivant.

**Tabla 6.****Clasificación del valor MBV práctico según método NORDTEST.**

Tableau 6.

Classification de la valeur MBV pratique selon la méthode NORDTEST.

MBV experimental MBV expérimentale	Nivel mínimo Niveau minimum	Nivel máximo Niveau maximum
	g/(m <sup>2</sup> . %HR)	
Insignificante/Négligeable	0	0,2
Limitado/Limitée	0,2	0,5
Moderado/Modérée	0,5	1,0
Bueno/Bonne	1,0	2,0
Excelente/Excellente	2,0	> 2,0

Fuente. (Rode, Peuhkuri, Time, Svennberg, &amp; Ojanen, 2006)

Source. (Rode, Peuhkuri, Time, Svennberg, &amp; Ojanen, 2006)

**Capacidad de transmisión de vapor de agua (Wet cup)**

Este ensayo determina la capacidad del material para dejar pasar un flujo de humedad a través de sí, mediante una diferencia de presión de vapor inducida por sales dentro de una copa sellada con el material en estudio y dejando solo una superficie expuesta a otra presión y humedad para determinar el flujo de la humedad dentro del material. Las humedades no se varían con el tiempo, se pretende conocer el cambio de la masa del espécimen con respecto al tiempo y cuando este alcance una tasa de cambio constante se puede calcular la densidad del caudal de vapor de agua que atraviesa el material, con el fin de obtener el valor de la resistencia a la permeabilidad del vapor.

A continuación, se detallan las ecuaciones propuestas en la norma ISO 12572:2001

$$G = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Ec.25}$$

Donde:

G: pendiente del cambio de masa con respecto al tiempo, en kg/s.

m<sub>2</sub> y m<sub>1</sub>: masa final y masa inicial respectivamente, en (kg)

t<sub>2</sub> y t<sub>1</sub>: tiempo final y tiempo inicial respectivamente, en (s).

Densidad de vapor de agua

$$g = \frac{G}{A} \quad \text{Ec.26}$$

Donde:

G: pendiente del cambio de masa con respecto al tiempo, en kg/s.

**Capacité de transmission de vapeur d'eau (Wet cup)**

Ce essai détermine la capacité du matériau à traverser un flux d'humidité à travers lui-même, grâce à une différence de pression de vapeur induite par le sel dans une tasse scellée avec le matériau à l'étude et en ne laissant qu'une surface exposée à d'autres pressions et humidité pour déterminer le flux d'humidité à l'intérieur du matériau. Cette humidité ne change pas avec le temps, il est prévu de connaître la variation de la masse de l'échantillon par rapport au temps et lorsque celle-ci atteint un taux de variation constant la densité du flux de vapeur d'eau à travers le matériau peut être calculée, afin d'obtenir la valeur de résistance à la perméabilité à la vapeur.

Les équations proposées dans l'ISO 12572: 2001 sont détaillées ci-dessous :

$$G = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Eq.25}$$

Où :

G: variation de masse par rapport au temps, en kg/s.

m<sub>2</sub> et m<sub>1</sub>: masse finale et masse initiale respectivement, en (kg).

t<sub>2</sub> et t<sub>1</sub>: heure finale et heure initiale respectivement, en (s).

Densité d'écoulement de vapeur d'eau

$$g = \frac{G}{A} \quad \text{Eq.26}$$

Où :

G: en attendant le changement de masse par rapport au temps, en kg/s.

A: área expuesta al flujo de vapor de agua, en m<sup>2</sup>.

Penetración de vapor de agua

$$W = \frac{G}{A \cdot \Delta P_v} \quad \text{Ec.27}$$

Donde:

$\Delta p_v$ : Diferencia de presión de vapor durante el ciclo de humedad (función de temperatura) durante la prueba.

A: área expuesta al flujo de vapor de agua, en m<sup>2</sup>.

A: surface exposée au flux de vapeur d'eau, en m<sup>2</sup>.

Pénétration de vapeur d'eau

$$W = \frac{G}{A \cdot \Delta P_v} \quad \text{Eq.27}$$

Où:

$\Delta p_v$ : Différence de pression de vapeur sur le cycle d'humidité (fonction de la température) pendant l'essai.

A: surface exposée au flux de vapeur d'eau, en m<sup>2</sup>.

**Tabla 7.**

**Valores de  $\Delta p_v$  para diferentes condiciones del ensayo según norma ISO 12572:2001**

Tableau 7.

Valeurs  $\Delta p_v$  pour différentes conditions d'essai selon la norme ISO 12572: 2001

Condición Condition ° C - % H	$\Delta p_v$ (Pa)
23 – 0/50 %	1 404
23 – 0/85 %	2 387
23 – 50/93 %	1 207
38 – 0/93 %	6 157
23 – 50/100 %	1 404

Fuente. Norma ISO 12572:2001

Source. Norma ISO 12572:2001

La resistencia del material contra el vapor de agua se puede obtener como:

$$Z = \frac{1}{W} \quad \text{Ec.28}$$

Por último, se puede obtener el valor de la permeabilidad al vapor de agua del aire con respecto a la presión de vapor parcial del ensayo:

$$\delta = W \cdot d \quad \text{Ec.29}$$

Donde:

W: Penetración de vapor de agua kg/(s.m<sup>2</sup>.Pa).

d: espesor del espécimen, en m.

En la siguiente figura, se muestran los estados por los que pasan los especímenes durante el ensayo de Wetcup, esta explicación es tomada del trabajo de investigación de (Ribeiro Simoes, 2015)

La résistance du matériau à la vapeur d'eau peut être obtenue comme:

$$Z = \frac{1}{W} \quad \text{Eq.28}$$

Enfin, la valeur de la perméabilité à la vapeur d'eau de l'air par rapport à la pression de vapeur partielle de l'essai peut être obtenue:

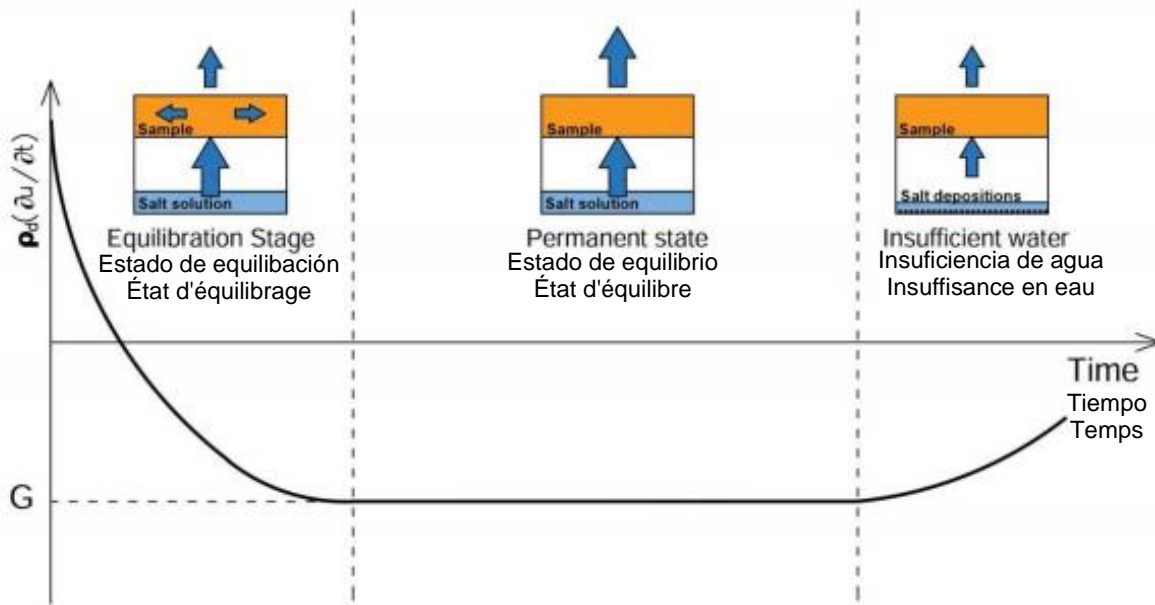
$$\delta = W \cdot d \quad \text{Eq.29}$$

Où:

W: Pénétration de vapeur d'eau kg/(s.m<sup>2</sup>.Pa).

d: épaisseur du spécimen, en m.

Dans la figure suivante, les états par lesquels les spécimens passent pendant l'essai Wetcup sont montrés, cette explication est tirée des travaux de recherche de (Ribeiro Simoes, 2015)



**Figura 15.** Tres posibles casos durante el ensayo de Wetcup. Fuente. (Ribeiro Simoes, 2015)

**Figure 15.** Trois cas possibles lors l'essai de Wetcup. Source. (Ribeiro Simoes, 2015)

## Costo de producción

Es importante tener un análisis de la viabilidad económica de los materiales en estudio, debido a que se debe competir no solo en calidad de los materiales propuestos sino también en la parte económica, debido que, en la actualidad se cuentan con una gama amplia de materiales a los cuales los usuarios están acostumbrados a utilizar, si se propone un material que va a tener un costo muy alto puede que no tenga la aceptación de los consumidores.

## Coût de production

Il est important d'avoir une analyse de la viabilité économique des matériaux à l'étude, car ils doivent concurrencer non seulement en en qualité comme matériaux proposé mais aussi dans la partie économique car ils ont actuellement une large gamme de matériaux auquel les utilisateurs sont habitués à utiliser, si un matériau qui va avoir un coût très élevé est proposé, il peut ne pas être accepté par les consommateurs.

# Metodología

A continuación, se describe la metodología de las diferentes actividades realizadas en el proyecto, se inicia con la caracterización de la cáscara de arroz utilizada, luego la realización de cilindros de bio-concreto y ensayo mecánico de compresión realizado sobre estos, por último, realización de especímenes tipo prismas, cilindros y bloque de bio-concreto con las dos formulaciones escogidas para caracterizarlas con diferentes ensayos mecánicos y físicos realizados sobre estos especímenes.

## Caracterización de la cáscara de arroz

### Densidad no compactada

Para obtener la densidad no compactada, se basó en la definición de esta y además se tomó en cuenta la metodología presentada en trabajos investigativos como el de (Mena Rodríguez, 2019)

En resumen del procedimiento, se vertió cáscara de arroz desde una altura escogida, hasta llenar el volumen de una probeta de 2 000 ml, luego se tomó el peso del conjunto y se calculó la densidad no compactada.

Procedimiento realizado:

1. Se ingresó 2 kg de cáscara de arroz a un horno con temperatura constante a 50 °C, cada 24 horas se tomó el dato de la masa, hasta que el material alcanzara una masa constante con variación del 1 % entre dos datos tomados.
2. Se vertió cáscara de arroz desde una altura constante de 10 cm en una probeta de 2 000 ml, se finalizó al alcanzar el volumen total de la probeta.
3. Con una balanza analítica de  $\pm 0,01$  g de exactitud se tomó el peso.
4. Se repitió seis veces los pasos 2 y 3 y se procedió a calcular el valor de la densidad

# Méthodologie

Ensuite, la méthodologie des différentes activités menées dans le cadre du projet est décrite, ça commence par la caractérisation de la balle de riz utilisée, puis la réalisation de cylindres de bio-béton et l'essai de compression mécanique effectué sur ceux-ci, enfin, la réalisation de spécimens prismes, cylindres et blocs de bio-béton avec les deux formulations choisies pour les caractériser avec différents tests mécaniques et physiques effectués sur ces spécimens.

## Caractérisation de la balle de riz

### Densité non compactée

Pour obtenir la densité non compactée, il a été basé sur la définition de celle-ci et la méthodologie présentée dans des documents de recherche tels que (Mena Rodríguez, 2019) a été prise en compte.

En résumé de la procédure, la balle de riz a été coulée à partir d'une hauteur choisie jusqu'à ce que le volume d'un tube à essai de 2 000 ml soit rempli, puis le poids total a été prélevé et la densité non compactée a été calculée.

Procédure effectuée :

1. 2 kg de balle de riz ont été placés dans un four à température constante de 50 ° C, chaque 24 heures les données de masse ont été prises, jusqu'à ce que le matériau atteigne une masse constante avec une variation de 1 % entre deux données prises.
2. La balle de riz a été versée d'une hauteur constante de 10 cm dans un échantillon de 2 000 ml, ça s'est fini quand ce atteignez le volume total de l'échantillon.
3. Avec une balance analytique d'une précision de  $\pm 0,01$  g, le poids a été pris.
4. Les étapes 2 et 3 ont été répétées six fois et la valeur de la densité non compactée

- no compactada del material con la ecuación 1 presentada en el marco teórico
5. Se promedió el valor de la densidad no compactada con los seis datos obtenidos.

du matériau a été calculé avec l'équation 1.

5. La valeur de la densité non compactée a été obtenu avec la moyenne des six données obtenues.



**Figura 16.** Probeta de 2 000 ml utilizada para calcular la densidad no compactada.

**Figure 16.** Tube à essai de 2 000 ml utilisé pour calculer la densité non compactée.

## Granulometría

Para obtener la granulometría del material se tomó en cuenta lo indicado en la norma ASTM C136, así como la metodología utilizada por (Mena Rodríguez, 2019) y (Mardama Nayagom, 2019).

En resumen, en esta etapa, se colocaron los tamices de mayor a menor abertura y la charola de último, se vertió la cáscara de arroz a tamizar se tapó el tamiz superior y se colocó sobre la tamizadora automática durante 2 min y por último se procedió a obtener los pesos retenidos en cada tamiz.

Procedimiento realizado:

1. Se tomó 400 g de dos diferentes apilamientos de cáscara de arroz disponibles en el laboratorio, 200 g de cada uno.
2. Se procedió a dividir el primer grupo de 200 g en 10 bandejas, poniendo en cada una de ellas  $20 \pm (0,01)$  g de cáscara de arroz.
3. Se utilizaron los tamices con apertura de; 10 mm, 5 mm, 2,5 mm, 1,25 mm, 1 mm,

## Granulométrie

Pour obtenir la granulométrie du matériau, les indications de l'ASTM C136 ont été prises en compte, ainsi que la méthodologie utilisée par (Mena Rodríguez, 2019) et (Mardama Nayagom, 2019).

En résumé, à cette étape, les tamis ont été mis du plus grand à la plus petite ouverture et le dernier bac, la balle de riz à tamiser a été versé, le tamis supérieur a été recouvert et placé sur le tamis automatique pendant 2 min et a finalement les poids retenus a été obtenu dans chaque tamis.

Procédure effectuée:

1. 400 g de balles de riz de deux empilements disponibles au laboratoire ont été prélevés, soit 200 g chacun.
2. Le premier groupe de 200 g a été divisé en 10 conteneurs, chacun d'eux  $20 \pm (0,01)$  g de balle de riz.
3. Les tamis avec ouverture de; 10 mm, 5 mm, 2,5 mm, 1,25 mm, 1 mm, 0,63 mm et le bac. Ils á placé de la plus grande à la plus petite des ouvertures (voir figure 19),



0,63 mm y además la charola. Colocándolos de mayor a menor apertura, (ver figura 19), se vertió la cáscara de arroz y se tamizó por 2 minutos con una tamizadora eléctrica.

4. Se procedió a obtener la masa retenida en los 6 tamices utilizados, más lo retenido en la charola.
5. Se repitió los pasos 3 y 4 para las 9 bandejas restantes del material tomado del primer apilamiento, teniendo un total de 200 g tamizados.
6. Se ha repetido del paso del 2 al 5 para las 10 bandejas del segundo apilamiento.



**Figura 17.** Primer apilamiento.  
**Figure 17.** Premier empilement.

la balle de riz a été versée pour tamiser pendant 2 min avec un tamis électrique.

4. Nous avons procédé pour obtenir la masse retenue dans les 6 tamis utilisés, plus ce qui était conservé dans le bac.
5. Les étapes 3 et 4 ont été répétées pour les 9 conteneurs restants du matériau prélevé dans la première pile, avec un total de 200 g de tamis.
6. Répétez les étapes 2 à 5 pour les 10 conteneurs, avec 20 g de balle de riz provenant de la deuxième pile.



**Figura 18.** Segundo apilamiento.  
**Figure 18.** Deuxième empilement.



**Figura 19.** Tamices utilizados para calcular la granulometría de la cáscara de arroz utilizada.  
**Figure 19.** Tamiseurs utilisés pour calculer la granulométrie de la balle de riz.

## Absorción de agua

Para calcular la capacidad de absorción de agua en porcentaje del peso de la cáscara de arroz utilizada, se consultó trabajos investigativos que incluían fibras naturales en concretos, como los de (Mena Rodríguez, 2019) y (Osorio Saraz, Varón Aristizabal, & Herrera Mejía, 2007).

En esta etapa, se colocó cáscara de arroz en las bolsas con capacidad permeable previamente conocida, se prepararon 3 bolsas con cáscara de arroz para cada tiempo de estudio, se procedió a ingresar al agua las bolsas con el material, se extrajo el aire de estas y se dejó reposar dentro del agua por el tiempo de estudio, luego se sacó la bolsa y se removió el exceso de agua con un secador manual. Por último, se tomó el dato de la masa y se calculó el porcentaje de absorción.

El procedimiento realizado fue:

1. Se calculó la capacidad de absorción de agua de las bolsas permeables a utilizar, para diferentes tiempos hasta alcanzar un porcentaje de absorción que fuese constante con respecto al tiempo de sumersión en el agua para este material.
2. Se preparó un kilogramo de cáscara de arroz, se ingresó a un horno con temperatura constante de 50 ° C, cada 24 horas se tomó el dato de la masa hasta alcanzar una variación no mayor al 0,1 % entre dos mediciones de masas.
3. Se preparó 25 bolsas permeables de 20 cm de largo, se introdujo  $25 \pm (0,01)$  g de cáscara de arroz en cada una de las 25 bolsas permeables, se ingresaron en el horno nuevamente. A este conjunto se le llamará muestra.
4. Se sacó tres muestras del horno y se dejó que estabilizaran su temperatura con la del ambiente.
5. Se introdujo una muestra en un recipiente con agua y se presionó varias veces tratando de extraer el aire existente entre las partículas de la cáscara de arroz, la sumersión de la muestra duró 1 min y se colocó peso sobre la bolsa para que la sumersión fuese total.
6. Al final del minuto se extrajo la muestra y se colocó en un secador manual, con un ritmo de dos revoluciones por segundo se trató de extraer el agua entre las partículas.

## Absorption d'eau

Pour calculer la capacité d'absorption d'eau en pourcentage du poids de la balle de riz utilisée, les travaux de recherche ont été consultés qui comprenaient des fibres naturelles dans le béton, comme ceux de (Mena Rodríguez, 2019) et (Osorio Saraz, Varón Aristizabal et Herrera Mejía, 2007).

A ce stade, la balle de riz a été placée dans les sacs avec une capacité perméable connue précédemment, 3 sacs avec la balle de riz ont été préparés pour chaque temps d'étude, les sacs avec le matériau ont été introduits dans l'eau, l'air en a été extrait et laissé au repos dans l'eau pendant le temps d'étude, puis le sac a été retiré et l'excès d'eau a été enlevé avec un séchoir manuel. Enfin, les données de masse ont été prises et le pourcentage d'absorption a été calculé.

La procédure effectuée était :

1. La capacité d'absorption d'eau des sacs perméables à utiliser a été calculée, à différents temps, jusqu'à atteindre un pourcentage d'absorption constant par rapport au temps de submersion dans l'eau pour ce matériau.
2. Un kilogramme de balle de riz a été préparé, a été introduit dans un four à une température constante de 50 ° C, chaque les 24 heures, les données de masse ont été prises jusqu'à ce qu'une variation de pas plus de 0,1 % entre deux mesures de masse.
3. 25 sacs perméables de 20 cm de long ont été préparés,  $25 \pm (0,01)$  g de cosse de riz ont été introduits dans chacun des 25 sacs perméables, ils ont été réintroduits dans le four. Cet ensemble sera appelé échantillon.
4. Trois échantillons ont été sortis du four et ont permis de stabiliser leur température avec celle de l'environnement.
5. Un échantillon a été placé dans un récipient avec de l'eau et pressé plusieurs fois en essayant d'extraire l'air entre les particules de la balle de riz, la submersion de l'échantillon a duré 1 min et le poids a été placé sur le sac afin que la submersion c'était total.
6. À la fin de la minute, l'échantillon a été extrait et placé dans un séchoir manuel, a été tenté avec un rythme de deux tours par

7. Se tomó el peso de la muestra en estado húmedo. Se repitió del paso 5 al 7 para las otras dos muestras.
8. Para las demás muestras, en grupos de tres, se repitió del paso 4 al 7 cambiando los tiempos de sumersión por; 5 min, 15 min, 30 min, 1 hora, 6 horas, 24 horas y 48 horas.
9. Con la ecuación 2 del marco teórico, se calculó el porcentaje de absorción para cada tiempo de estudio.



**Figura 20.** Bolsas permeables con cáscara de arroz para estudio de absorción del agua.

**Figure 20.** Sacs perméables avec balle de riz pour étude d'absorption d'eau.

seconde pour extraire l'eau entre les particules.

7. Le poids de l'échantillon a été prélevé à l'état humide. Il a été répété de l'étape 5 à 7 pour les deux autres échantillons.
8. Pour les autres échantillons, en groupes de trois, il a été répété de l'étape 4 à 7 en changeant les temps de submersion pour ; 5 min, 15 min, 30 min, 1 heure, 6 heures, 24 heures et 48 heures.
9. Avec l'équation 2 du cadre théorique, le pourcentage d'absorption pour chaque temps d'étude a été calculé.



**Figura 21.** Bolsas permeables con cáscara de arroz sumergidas en agua.

**Figure 21.** Sacs perméables avec une balle de riz immergée dans de l'eau.

## Formulación de mezclas de bio-concreto

### Elaboración de cilindros con mezclas de bio-concreto

A continuación, se presenta la metodología llevada a cabo en la realización de cilindros de las mezclas de concreto con cáscara de arroz. Se estudiaron un total de 25 formulaciones, teniendo 22 con ligante tipo cemento Portland tipo II y 3 con ligante cal natural, ambos descritos en el marco teórico.

Esta etapa del proyecto se realizó en dos fases, en la primera se estudiaron seis formulaciones del bio-concreto, se elaboraron seis cilindros por formulación para ser estudiados en grupos de tres en las edades de 28 y 60 días, en la segunda fase, se estudiaron 19 formulaciones donde se elaboraron seis cilindros por formulación, para ser estudiados igualmente en grupos de tres en las edades de 7 y 28 días. Las dimensiones de

## Formulation de mélanges de bio béton

### Développement de cylindres avec mélanges de bio béton

Ensuite, la méthodologie effectuée dans la réalisation de cylindres des mélanges de béton avec de la balle de riz est présentée. Au total, 25 formulations ont été étudiées, dont 22 avec du liant de ciment Portland de type II et 3 avec du liant de chaux naturelle, les deux décrites dans le cadre théorique.

Cette étape du projet a été réalisée en deux phases, dans le premier six formulations de bio-béton ont été étudiées, six cylindres par formulation ont été développés pour être étudiés en groupes de trois à l'âge de 28 et 60 jours, dans la deuxième phase, ont étudié 19 formulations où six cylindres ont été fabriqués par formulation, à étudier également en groupes de trois à l'âge de 7 et 28

los cilindros eran de 16 cm de diámetro y 36 cm de altura, así mismo 11 cm de diámetro y 22 cm de altura, así mismo de 11 cm de diámetro y 22 cm de altura

El procedimiento para la elaboración de los cilindros de bio-concreto para cada formulación consistió en mezclar los materiales por 10 minutos, en los primeros 5 minutos se agregó el agua y el ligante, posteriormente se agregó la cáscara de arroz y se mezcló por 5 minutos más completando así los 10 minutos. Luego se agregó la mezcla por capas en los moldes cilíndricos y entre cada capa se dio una compactación con una pesa de 6,8 kg.

El procedimiento realizado fue:

1. En la mezcladora se agregó aproximadamente un 80 % de la cantidad de agua requerida en la mezcla.
2. Se inició el ciclo de mezclado y se agregó la totalidad del ligante requerido, se dejó mezclar durante 5 minutos.
3. Se agregó la totalidad de la cáscara de arroz a utilizar en la mezcla más el restante de agua y se continuó con el proceso de mezclado, durante 5 minutos.
4. Se procedió a introducir la mezcla en los moldes cilíndricos:
  - Moldes de 36 cm de altura: se colocó el material en 3 capas, de 12 cm de altura aproximadamente y se compactó cada capa con un peso de 50 kg.
  - Moldes de 22 cm de altura: se colocó el material en 5 capas con 4 cm de altura aproximadamente y se compactó con un peso de 6,8 kg, con 3 golpes por capa.
5. Al final se tapó el cilindro con una tapa de plástico propia del molde, se tomó el peso del espécimen y se dejó reposar en laboratorio hasta que alcanzara la edad apropiada (\*) para realizar el ensayo de compresión.

Notas:

- (\*) Desde la formulación F8 F500 CEM II 32,5 E/L: 0,5 hasta la F24 F350 CEM II 32,5 E/L: 0,5, el cilindro número 1 (N1) se desmoldó con 24 horas de haberse elaborado, con el fin observar y valorar su comportamiento físico y resultado de resistencia a la compresión a los 28 días con un desmolde a temprana edad.
- La formulación F7 F500 CEM II 32,5 E/L: 0,7, se descartó debido que en el proceso

jours. Les dimensions des cylindres étaient de 16 cm diamètre et 36 cm de haut, également de 11 cm de diamètre et 22 cm de haut.

La procédure d'élaboration des cylindres en bio-béton pour chaque formulation a consisté à mélanger les matériaux pendant 10 minutes, dans les 5 premières minutes l'eau et le liant ont été ajoutés, puis la balle de riz a été ajoutée et mélangée pendant 5 minutes plus complétant ainsi les 10 minutes. Le mélange a ensuite été ajouté par couches dans les moules cylindriques et entre chaque couche un compactage avec un poids de 6,8 kg a été donné.

La procédure effectuée était :

1. Environ 80 % de la quantité d'eau requise dans le mélange a été ajoutée au mélangeur.
2. Le cycle de mélange a été démarré et tout le liant requis a été ajouté, laissé à mélanger pendant 5 minutes.
3. La totalité de la balle de riz à utiliser dans le mélange plus l'eau restante a été ajoutée et le processus de mélange a été poursuivi pendant 5 minutes.
4. Le mélange a été introduit dans les moules cylindriques :
  - Moules de 36 cm de haut : le matériau a été placé en 3 couches, d'environ 12 cm de haut et chaque couche a été compactée avec un poids de 50 kg.
  - Moules de 22 cm de haut: le matériau a été placé en 5 couches d'environ 4 cm de haut et compacté avec un poids de 6,8 kg, avec 3 coups par couche.
5. À la fin, le cylindre était recouvert d'un couvercle en plastique du moule, il a donc pris le poids de l'échantillon et laissé au laboratoire jusqu'à ce qu'il atteigne l'âge approprié (\*) pour effectuer l'essai de compression.

Notes:

- (\*) De la formulation F8 F500 CEM II 32,5 E/L : 0,5 à F24 F350 CEM II 32,5 E/L : 0,5, le cylindre numéro 1 (N1) a été démolé dans les 24 heures suivant sa préparation, afin d'observer et évaluer leur comportement physique et le résultat de la résistance à la compression à 28 jours avec un démoulage précoce.
- La formulation F7 F500 CEM II 32,5 E/L: 0,7, a été jetée car en cours de réalisation celle-ci était très liquide pour pouvoir la

de realización esta era muy líquida para poder compactarla.



**Figura 22.** Materiales y moldes utilizados en una de las formulaciones realizadas.

**Figure 22.** Matériaux et moules utilisés dans l'une des formulations fabriquées.

## Ensayo de compresión en cilindros de bio-concreto

En esta etapa, se toma en cuenta lo indicado en normas como la, UNE-EN 12390- 3:2009/AC:2011 y lo indicado en el Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral del Hormigón de Cáñamo, este último como referencia debido a que es un material muy similar al de estudiado en este proyecto.

En resumen del método, una vez que los cilindros de las formulaciones estudiadas cumplieron la edad de estudio para la resistencia a la compresión, se quitó el molde y se preparó el cilindro previo al ensayo, con una sierra eléctrica se cortó la parte superior e inferior del cilindro para obtener una superficie lisa de apoyo, luego se sometió el cilindro a una fuerza con un desplazamiento de 5 mm/min, hasta que el cilindro llegó a su resistencia de compresión máxima.

El procedimiento realizado fue:

1. Se quitó el molde de los cilindros a ensayar, la preparación antes del ensayo tuvo cuatro variaciones importantes para analizar sus efectos:
  - Cilindros desmoldados 24 horas después de su realización y dejados en reposo hasta la edad de 28 días para el ensayo.
  - Cilindros desmoldados 48 horas antes del ensayo e ingresados a un horno a temperatura de 50 ° C, para el ensayo a los 7 días.

compactar.



**Figura 23.** Cilindros de bio-concreto en reposo en el laboratorio.

**Figure 23.** Cylindres de bio-béton au repos dans le laboratoire.

## Essai de compression dans des cylindres en bio-béton

À ce stade, ce qui est indiqué dans les normes telles qu'UNE-EN 12390-3 : 2009/AC : 2011

et ce qui est indiqué dans le Protocole d'Essai pour la Mesure des Performances de Seuil du Béton de Chanvre est pris en compte, ce dernier comme référence car c'est un matériau très similaire à celui étudié dans ce projet.

En résumé de la méthode, une fois que les cylindres des formulations étudiées ont atteint l'âge de l'étude pour la résistance à la compression, le moule a été retiré et le cylindre a été préparé avant l'essai, avec une scie électrique les parties supérieure et inférieure ont été coupées du cylindre pour obtenir une surface d'appui lisse, puis le cylindre a été soumis à une force avec un déplacement de 5 mm/min, jusqu'à ce que le cylindre atteigne sa résistance maximale à la compression.

La procédure effectuée était :

1. Le moule des cylindres à tester a été retiré, la préparation avant l'essai avait quatre variations importantes pour analyser ses effets :
  - Les cylindres ont été démoulés 24 heures après sa réalisation et laissés au repos jusqu'à l'âge de 28 jours pour l'essai.
  - Les cylindres ont été démoulés 48 heures avant l'essai et sont entrés dans un four à une température de 50 ° C, pour l'essai à 7 jours.



- Cilindros desmoldados 1 semana antes del ensayo e ingresados a un horno a temperatura de 50 ° C, para el ensayo a los 28 días.
  - Cilindros desmoldados el mismo día del ensayo, sin ingresarse al horno.
2. Se procedió a cortar un grosor no significativo en la parte superior e inferior del cilindro para generar una superficie de apoyo lo más lisa posible, se tomó el dato del peso y altura del cilindro ya cortado.
  3. Se colocó en cilindro sobre la máquina de ensayo de compresión de capacidad de 50 kN de fuerza y se inició el ensayo con un desplazamiento de 5 mm/min.
  4. Se terminó el ensayo una vez que se sobrepasó la resistencia a la compresión máxima soportada por el cilindro y se hiciera evidente la falla en este, con el fin de poder evidenciar los tipos de fallas que se presentarían en las diferentes formulaciones del bio- concreto.

- Cylindres démoulés 1 semaine avant l'essai et entrés dans un four à une température de 50° C, pour l'essai à 28 jours.
  - Démouler les cylindres le jour même du test, sans entrer dans le four.
2. Une épaisseur non significative a été découpée dans la partie supérieure et inférieure du cylindre pour générer une surface d'appui la plus lisse possible, les données de poids et de hauteur du cylindre déjà coupé ont été prises.
  3. Le cylindre a été placé sur la machine d'essai de compression d'une capacité de 50 kN et l'essai a commencé avec un déplacement de 5 mm/min.
  4. L'essai a été terminé une fois que la résistance maximale à la compression supportée par le cylindre a été dépassée et que sa défaillance est devenue évidente, afin de pouvoir démontrer les types de défaillances qui se produiraient dans les différentes formulations de bio-béton.



**Figura 24.** Proceso de desmolde de los cilindros de bio-concreto.

**Figure 24.** Processus de démolition de cylindres en bio béton.



**Figura 25.** Cilindro de bio-concreto cortado con sierra eléctrica.

**Figure 25.** Découpe de cylindre en bio béton avec une scie électrique



**Figura 26.** Cilindro de bio-concreto previo a fallar.  
**Figure 26.** Cylindre de bio-béton avant la rupture.



**Figura 27.** Al lado izquierdo cilindros de bio-concreto sin ensayar a la derecha los cilindros ya ensayados a compresión.  
**Figure 27.** Sur le côté gauche des bouteilles de bio-béton sans essai sur la droite les bouteilles déjà testées pour la compression.

## Especímenes elaborados con las dos formulaciones bio-concreto escogidas

En este capítulo, se presenta la metodología utilizada para la elaboración de diferentes especímenes estudiados, los tipos de especímenes elaborados son: cilindros, bloques sin agujeros y prismas.

Estos se realizaron con dos de las formulaciones elaboradas en el capítulo anterior, que posterior a su estudio cumplieran con el mínimo resistencia a la compresión, de la normativa INTE C89-2017 para Costa Rica y Protocolo de Prueba Para la Medición de Rendimiento Umbral del

## Préparation d'échantillons des formulations base en bio béton

Dans ce chapitre, la méthodologie utilisée pour l'élaboration des différents spécimens étudiés est présentée, les types de spécimens produits sont: cylindres, blocs sans trous et prismes.

Celles-ci ont été réalisées avec deux des formulations élaborées dans le chapitre précédent, qui après leur étude respectaient la résistance minimale à la compression de la norme INTE C89-2017 pour le Costa Rica et du Protocole d'Essai pour la Mesure de la Performance Seuil du Béton du Chanvre pour la France.

Hormigón de Cáñamo para Francia.

A continuación, se detalla la metodología de elaboración de los especímenes y además la metodología en los ensayos mecánicos o físicos realizados sobre estos. A la formulación escogida para Costa Rica se le llamará FCR y a la escogida para Francia FFR.

## Elaboración de prismas con formulaciones FCR y FFR

Las dimensiones de los prismas elaborados son: 14 cm x 14 cm x 56 cm (ancho, alto, largo), es importante mencionar que estos no cuentan con ningún tipo de acero de refuerzo.

La elaboración de la mezcla de bio-concreto con la que se elaboraron los prismas siguió la misma metodología descrita en el capítulo anterior.

El procedimiento realizado fue:

1. La mezcla bio-concreto, para ambas formulaciones en estudio, siguió la metodología descrita del paso 1 al 3 del apartado "Elaboración de cilindros con mezclas de bio-concreto"
2. Se colocó el material en el molde del prisma en capas de 4 cm de altura aproximadamente.
3. Cada capa se compactó con un peso de 9,96 kg, en total se dieron 24 golpes uniformemente.
4. Se enrasó la cara superior del prisma una vez finalizado, se procedió a cubrir el espécimen con el fin de evitar la pérdida de agua de este por evaporación en el tiempo de reposo.
5. Se desmoldó los especímenes con 7 días de elaboración y se dejaron en reposo a temperatura ambiente hasta alcanzar 60 días.



**Figura 28.** Molde utilizados para la elaboración de prismas con mezclas de bio-concreto.

**Figure 28.** Moule utilisés pour l'élaboration des prismes avec des mélanges de béton biologique

Ensuite, la méthodologie d'élaboration des échantillons ainsi que la méthodologie des tests mécaniques ou physiques effectués sur ceux-ci sont détaillées. La formulation choisie pour le Costa Rica sera dénommée FCR et celle choisie pour la France FFR.

## Préparation de prismes avec des formulations FCR et FFR

Les dimensions des prismes élaborées sont : 14 cm x 14 cm x 56 cm (largeur, hauteur, longueur), est important de mentionner qu'elles n'ont aucun type d'acier d'armature.

L'élaboration du mélange de bio-béton avec lequel les prismes ont été réalisés a suivi la même méthodologie décrite dans le chapitre précédent.

La procédure effectuée était :

1. Le mélange de bio-béton, pour les deux formulations à l'étude, a suivi la méthodologie décrite aux étapes 1 à 3 de la section « Développement de cylindres avec des mélanges de bio-béton »
2. Le matériau a été placé dans le moule à prisme en couches d'environ 4 cm de haut.
3. Chaque couche a été compactée avec un poids de 9,96 kg, un total de 24 coups a été donné uniformément.
4. La face supérieure du prisme a été maquillé une fois celle-ci terminée, le spécimen a été recouverte afin d'éviter toute perte d'eau par évaporation pendant repos.
5. Les spécimens ont été démoulé avec 7 jours d'élaboration et laissé reposer à température ambiante jusqu'à atteindre 60 jours.



**Figura 29.** Plástico sobre prisma para evitar la evaporación del agua existente en este.

**Figure 29.** Plastique sur le prisme pour empêcher l'évaporation de l'eau dans ce.





**Figura 30.** Prismas sin el molde a los 7 días de haberse elaborado.  
**Figure 30.** Prismes sans moule 7 jours après la fabrication.

## Ensayo de flexión sobre prismas

Para el ensayo de flexión, se siguió lo indicado en la norma NF EN 12390-5. Una vez que los especímenes cumplieron los 28 días se procedió a realizar el ensayo sobre estos.

El procedimiento realizado fue:

1. Se tomaron los datos de las dimensiones y peso de los prismas a ensayar.
2. Se colocó el prisma sobre dos rodillos de apoyo, estos estaban a una distancia de 7 cm desde los bordes del prisma, dejando una luz inferior de 42 cm en el prisma.
3. En la parte superior y central del prisma se encontraban dos rodillos separados a 14 cm entre sí, estos aplicarían la fuerza con un desplazamiento de 5 mm/min. La máquina utilizada fue MST de 50 kN de capacidad.
4. Se terminó el ensayo hasta sobrepasar la capacidad máxima de resistencia a la flexión del espécimen y se hiciera notable la ruptura de este, con la ecuación 11 del marco teórico se determinó la resistencia a la flexión.

## Essai de flexion sur les prismes

Pour l'essai de flexion, les instructions de la norme NF EN 12390-5 ont été suivies. Une fois les spécimens âgés de 28 jours, l'essai a été effectué sur eux.

La procédure effectuée était :

1. Des données sur les dimensions et le poids des prismes à tester ont été prises.
2. Le prisme était placé sur deux rouleaux de support, ceux-ci étaient à une distance de 7 cm des bords du prisme, laissant une lumière inférieure de 42 cm dans le prisme.
3. Dans la partie supérieure et centrale du prisme étaient deux rouleaux séparés de 14 cm, ils appliqueraient une force avec un déplacement de 5 mm/min. La machine utilisée était MST d'une capacité de 50 kN.
4. L'essai a été interrompu jusqu'à ce que la capacité maximale de résistance à la flexion de l'échantillon ait été dépassée et que sa rupture soit devenue perceptible, avec l'équation 11 du cadre théorique, la résistance à la flexion a été déterminée.



**Figura 31.** Prisma colocado en la máquina para ensayo de flexión a los 60 días.  
**Figure 31.** Prisme placé dans la machine pour l'essai de résistance à la flexion à 60 jours.



**Figura 32.** Prisma con grieta por falla a la flexión.

**Figure 32.** Prisme avec fissure due à une rupture de flexion.

## Elaboración de bloques con formulaciones FCR y FFR

Se elaboraron especímenes tipo bloques sin agujeros, las dimensiones previstas para estos eran de 15 x 20 x 40 cm (ancho, alto, largo). Se elaboraron bloques con la dosificación de bio-concreto FCR y FFR.

El molde utilizado para la elaboración fue hecho manualmente en el laboratorio con madera contrachapada, así mismo la realización de los bloques fue totalmente manual. El molde se engraso previo a la realización de los especímenes para evitar una adherencia de la mezcla a la madera y a la vez permitir un desmolde fácil.

El procedimiento realizado fue:

1. La mezcla bio-concreto, con la que se elaboró los bloques, siguió la metodología descrita del paso 1 al 3 del apartado "Elaboración de cilindros con mezclas de bio-concreto"
2. Se colocó la mezcla por capas de aproximadamente 4 cm de altura cada una y se compactó cada capa con 16 golpes con un peso de 9,96 kg.
3. Se engrasó la cara superior del prisma una vez finalizado, se procedió a cubrir el espécimen con el fin de evitar la pérdida de agua de este por evaporación.
4. A los 7 días se desmoldó los bloques y se dejaron reposar en el laboratorio a temperatura ambiente hasta alcanzar la edad de ensayo.

## Élaboration de blocs avec des formulations FCR et FFR

Des échantillons de type bloc sans trous ont été réalisés, les dimensions prévues pour ceux-ci étaient de 15 x 20 x 40 cm (largeur, hauteur, longueur). Des blocs ont été réalisés avec le dosage de bio-béton FCR et FFR.

Le moule utilisé pour l'élaboration a été fabriqué manuellement en laboratoire avec du contreplaqué, de même la réalisation des blocs a été totalement manuelle. Le moule a été graissé avant la réalisation des éprouvettes pour éviter l'adhésion du mélange au bois et en même temps permettre un démoulage aisé.

La procédure effectuée était:

1. Le mélange de bio-béton, avec lequel les blocs ont été réalisés, a suivi la méthodologie décrite aux étapes 1 à 3 de la section « Développement de cylindres avec des mélanges de bio- béton »
2. Le mélange a été placé en couches d'environ 4 cm de haut chacune et chaque couche a été compactée en 16 courses pesant 9,96 kg.
3. La face supérieure du prisme a été rincée une fois terminée, l'échantillon a été recouvert afin d'éviter la perte d'eau par évaporation.
4. À 7 jours, les blocs ont été démoulés et laissés au laboratoire à température ambiante jusqu'à ce qu'ils atteignent l'âge d'essai.





**Figura 33.** Bloque en el molde elaborado con madera contrachapada.

**Figure 33.** Bloc dans le moule en contreplaqué.



**Figura 34.** Bloques en repos y cubiertos para evitar pérdida de agua por evaporación.

**Figure 34.** Blocs au repos et couverts pour éviter la perte d'eau par évaporation.



**Figura 35.** Bloques de la formulación FCR desmoldados a los 7 días.

**Figure 35.** Blocs de formulation FCR démoulé à 7 jours.

## Ensayo de compresión en bloques de formulaciones FCR y FFR

Se realiza el ensayo de compresión en bloques no estructurales según la norma ASTM C1314 – 18.

Este ensayo se realizó a los 60 días de edad de los especímenes, fue necesario calcular la fuerza por aplicar para el ensayo, debido a que la norma no indica la fuerza por aplicar, por lo que se calculó esta para ambas formulaciones según la ecuación 13 presentada en el marco teórico.

## Essai de compression dans des blocs de formulations FCR et FFR

L'essai de compression de bloc non structuel est effectué conformément à la norme ASTM C1314-18.

Ce test a été effectué à 60 jours d'âge des échantillons, il a été nécessaire de calculer la force à appliquer pour l'essai, car la norme n'indique pas la force à appliquer, elle est donc calculée pour les deux formulations selon l'équation 13 du cadre théorique.

El procedimiento realizado fue:

1. No se cortó la superficie superior de apoyo de la carga igual que en los cilindros, para evitar posibles alteraciones debido al corte con sierra.
2. Para los bloques elaborados con la formulación FFR se calculó que la fuerza máxima posible a soportar por un bloque con esta formulación sería de 54 kN. utilizando la ecuación 13 del marco teórico y además la fuerza máxima que soportaron los cilindros fallados a compresión con elaborados con esta formulación.
3. Para los bloques elaborados con la formulación FCR se calculó que la fuerza máxima posible a soportar por un bloque con esta formulación sería de 400 kN.
4. Para el ensayo de los bloques de ambas formulaciones se utilizó una presa con capacidad de 2 500 kN de fuerza.
5. Se aplicó la fuerza de compresión sobre los bloques con un desplazamiento de 1 mm/min. Se detuvo el ensayo hasta sobrepasar la fuerza máxima soportada por el espécimen y tener una falla visible sobre este.

La procédure effectuée était:

1. La surface d'appui supérieure de la charge n'a pas été coupée comme dans les cylindres, afin d'éviter d'éventuelles altérations dues à la coupure de fermeture.
2. Pour les blocs fabriqués avec la formulation FFR, il a été calculé que la force maximale possible à supporter par un bloc avec cette formulation serait de 54 kN. en utilisant l'équation 13 du cadre théorique et aussi la force maximale que les cylindres défailants comprimés avec ceux fabriqués avec cette formulation ont supportés.
3. Pour les blocs fabriqués avec la formulation FCR, il a été calculé que la force maximale possible à supporter par un bloc avec cette formulation serait de 400 kN.
4. Un barrage d'une capacité de 2 500 kN de force a été utilisé pour tester les blocs des deux formulations.
5. La force de compression a été appliquée aux blocs avec un déplacement de 1 mm/min. L'essai a été arrêté jusqu'à ce qu'il dépasse la force maximale supportée par l'échantillon et qu'il y ait un défaut visible dessus.



**Figura 36.** Bloque de la formulación FCR al lado izquierdo y de la FFR al lado derecho durante el ensayo de compresión.

**Figure 36.** Bloc de la formulation FCR sur le côté gauche et le FFR sur le côté droit pendant l'essai de compression.



**Figura 37.** Bloques fallados a la compresión.

**Figure 37.** Les blocs échoué la compression.



## Elaboración de cilindros con formulaciones FCR y FFR

Se realizaron un total de 15 cilindros por formulación, de 16 cm de diámetro por 32 cm de altura, la metodología utilizada fue la misma que en el capítulo “Formulación de mezclas de bio-concreto” en el apartado “Elaboración de cilindros con mezclas de bio- concreto”. La única diferencia es que todos los cilindros se desmoldaron al cumplir 7 días de elaborados.

Se pretende obtener resultados de resistencia a la compresión con estos cilindros a las edades de 7, 28 y 60 días para comparar con los datos obtenidos de los primeros cilindros fallados de la misma formulación, además de obtener muestras extraídas de los cilindros para realizar ensayos físicos los cuales se van a detallar en los siguientes apartados.

## Ensayo de compresión sobre cilindros de las formulaciones FCR y FFR

El ensayo de compresión sobre los cilindros elaborados en el apartado anterior se realizó a los 7, 28 y 60 días.

La metodología utilizada es la misma que se presentó en el apartado “Ensayo de compresión en cilindros de bio-concreto” del capítulo “Formulación de mezclas de bio- concreto”, se mantiene los mismos pasos para tener un proceso más sistematizado sobre el proyecto.

## Élaboration de cylindres avec des formulations FCR et FFR

Un total de 15 cylindres par formulation ont été réalisés, 16 cm de diamètre par 32 cm de hauteur, la méthodologie utilisée était la même que dans le chapitre « Formulation de mélanges de béton bio » dans la section « Développement de cylindres avec des mélanges de bio-béton ». La seule différence est que tous les cylindres ont été démoulés après 7 jours de élaboré.

Est destiné à obtenir des résultats de résistance à la compression avec ces cylindres à l'âge de 7, 28 et 60 jours à comparer avec les données obtenues à partir des premiers cylindres défailants de la même formulation, en plus d'obtenir des échantillons extraits des cylindres pour des tests physiques qui seront détaillés dans les sections suivantes.

## Essai de compression sur des cylindres des formulations FCR et FFR

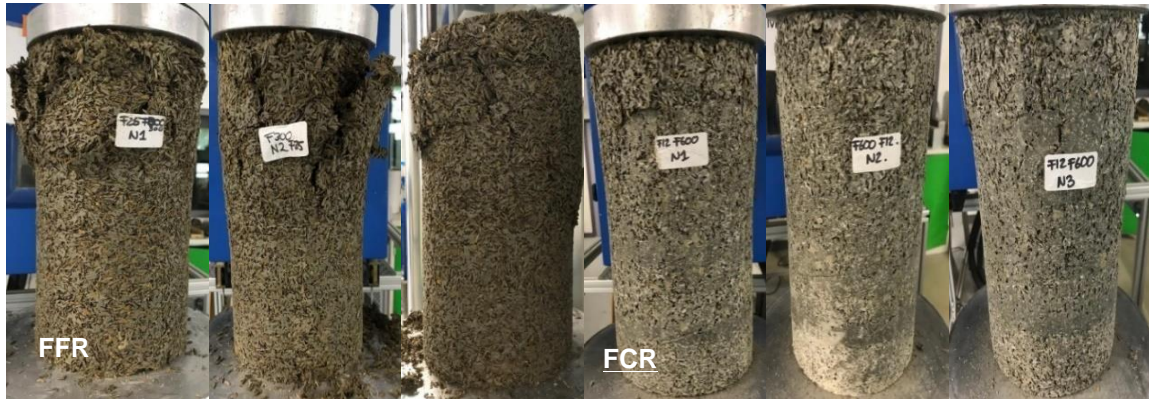
L'essai de compression sur les bouteilles préparées dans la section dernier a été réalisé à l'âge de 7, 28 et 60 jours.

La méthodologie utilisée est la même que celle présentée dans la section « Développement de cylindres avec mélanges de bio béton » dans le chapitre « Formulation de mélanges de bio béton », les mêmes étapes sont maintenues afin d'avoir un processus plus systématique dans le projet.



**Figura 38.** Cilindros de las formulaciones FFR y FCR antes del ensayo de compresión.

**Figure 38.** Cylindres des formulations FFR y FCR avant le essai de compressio



**Figura 39.** Cilindros de las formulaciones FFR F300 CEM II 32,5 y FCR F600 CEM II 32,5 después del ensayo de compresión.  
**Figure 39.** Cylindres des formulations FFR F300 CEM II 32.5 et FCR F600 CEM II 32.5 après le essai de compression.

## Caracterización física de las formulaciones FCR y FFR

En el capítulo anterior se presentó la metodología utilizada para la elaboración de los diferentes especímenes a estudiar en el proyecto con sus respectivos ensayos mecánicos.

Ahora, se presenta la metodología de los ensayos físicos realizados sobre muestras extraídas de los cilindros elaborados con las dos principales formulaciones en estudio.

De dos cilindros de 16 cm de diámetro por 32 cm de altura se extrajeron las siguientes muestras:

- Cuatro de 5 cm de altura para el ensayo térmico.
- Tres de 5 cm de altura para el ensayo amortiguación de agua.
- Tres de 3 cm para el ensayo de transmisión de vapor de agua.

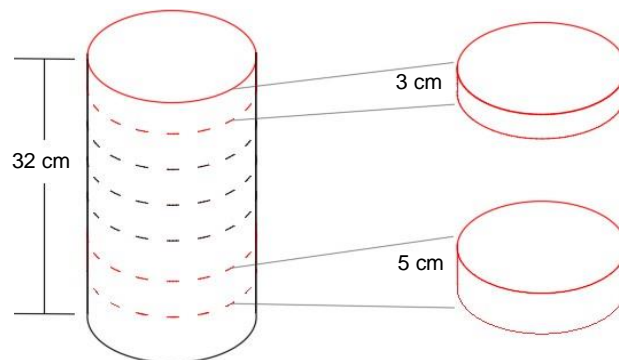
## Caractérisation physique des formulations FCR et FFR

Dans le chapitre précédent, la méthodologie utilisée pour l'élaboration des différents échantillons à étudier dans le projet avec leurs essais mécaniques respectifs a été présentée.

Maintenant, la méthodologie des tests physiques effectués sur des échantillons extraits de cylindres fabriqués avec les deux principales formulations à l'étude est présentée.

Les spécimens suivants ont été extraits de deux cylindres de 16 cm de diamètre par 32 cm de hauteur :

- Quatre hauteurs de 5 cm pour les tests thermiques.
- Trois hauteurs de 5 cm pour l'essai d'amortissement de l'eau.
- Trois 3 cm pour l'essai de transmission de vapeur d'eau.



**Figura 40.** Diagrama de extracción de muestras para estudios físicos de los cilindros en estudio.  
**Figure 40.** Diagramme d'extraction d'échantillons pour les études physiques des cylindres à l'étude.

## Ensayo de conductividad y efusividad térmica

Teniendo cuatro muestras de cada una de las formulaciones FCR FFR de 5 cm de alto cada una, en donde dos muestras fueron tomadas de un cilindro y las otras dos de otro. Se procedió a seguir lo indicado en el Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo para la estabilización de las muestras previo al ensayo.

A continuación, se detalla la metodología:

- Conductividad térmica:

1. Se ingresaron las muestras a un horno con temperatura constante de 50 ° C, cada 24 horas se tomó el dato de la masa, hasta alcanzar una variación no mayor al 1 % entre dos datos.
2. Se ingresaron las muestras a una cámara climatizada con temperatura de 20 ° C y una humedad relativa de
3. 50 % con el fin de estabilizar la humedad y temperatura en las muestras y tener un estado lo más homogéneo posible para todas las muestras.
4. Con ayuda del programa Neotim FP2C, el cual mediante una sonda con un alambre que controla la temperatura y tiempo de exposición de esta a la muestra, regresa el valor de la conductividad térmica ( $\lambda$ ) medido en cierto punto de la muestra.
5. Se tomó el valor de  $\lambda$  en diferentes puntos de la muestra. Se les dio vuelta a ambas muestras para tomar el dato  $\lambda$  por la otra cara, igualmente se tomaron datos en diferentes puntos.
6. Todos los datos fueron obtenidos mientras las muestras se mantenían en la cámara climatizada por lo que la temperatura ambiente de 20 ° C se mantuvo constante durante la prueba.

- Efusividad térmica:

La metodología para obtener el dato de efusividad térmica del material fue la misma que realizada para obtener la conductividad, la diferencia radica en la sonda utilizada, la cual permite obtener el dato de efusividad.

## Essai de conductivité et d'effusivité thermique

Avec quatre échantillons de 5 cm de hauteur chacun, par chacune des formulations FCR et FFR, où deux échantillons ont été prélevés dans un cylindre et les deux autres dans un autre. La procédure indiquée dans le protocole d'essai pour la mesure des performances de seuil du béton de chanvre pour la stabilisation des échantillons avant de jouer l'essai.

La méthodologie est détaillée ci-dessous :

- Conductivité thermique :

1. Les spécimen sont été introduits dans un four à une température constante de 50 ° C, toutes les 24 heures les données de la masse ont été prises, jusqu'à ce qu'une variation de pas plus de 1 % soit atteinte entre deux données.
2. Les spécimen sont été introduits dans une chambre chauffée à une température de 20 ° C et une humidité relative de 50 % afin de stabiliser l'humidité et la température dans les spécimens et avoir un état aussi homogène que possible pour tous les échantillons.
3. Avec l'aide du programme Neotim FP2C, qui au moyen d'une sonde avec un fil, contrôle la température et le temps d'exposition de celui-ci à l'échantillon, renvoie la valeur de la conductivité thermique ( $\lambda$ ) mesurée à un certain point dans l'échantillon.
4. La valeur de  $\lambda$  a été prise en points différents de l'échantillon, les deux échantillons ont été tournés pour prendre les données  $\lambda$  de l'autre côté de l'échantillon, données ont également été prises à différents points.
5. Toutes les données ont été obtenues alors que les spécimens étaient conservés dans la chambre chauffée afin que la température ambiante de 20 ° C reste constante pendant l'essai.

- Effusivité thermique :

La méthodologie d'obtention des données d'effusivité thermique du matériau est la même que celle utilisée pour obtenir la conductivité, la différence réside dans la sonde utilisée, ce qui permet d'obtenir les données d'effusivité.





**Figura 41.** Muestras dentro de la cámara climatizada para durante el ensayo de conductividad y efusividad térmica.

**Figure 41.** Échantillons à l'intérieur de la chambre chauffée pendant l'essai de conductivité et d'effusivité thermique.

## Ensayo de amortiguación de agua (Moisture Buffer Value)

Este ensayo se realizó siguiendo lo indicado en el ensayo NORTEST. De cada formulación en estudio se prepararon 3 muestras de 5 cm, los cálculos para la obtención del valor MBV del material se realizaron con la ecuación 24 presentada en el marco teórico.

A continuación, se detalla la metodología del ensayo:

1. Las muestras se ingresaron a un horno con temperatura de 50 ° C, se tomaron los datos de la masa cada 24 horas, hasta alcanzar masa constante con una variación de no más del 1 % entre dos datos.
2. Se cubrieron todas las superficies de la muestra con cinta metálica adhesiva, excepto una, con el fin de permitir la absorción o desorción del vapor de agua por una superficie con área conocida y generar el flujo del vapor en solo dos direcciones posibles.
3. Las muestras fueron ingresadas a una cámara climatizada automatizada, en la cual se programó dos ciclos que se iban a repetir hasta alcanzar por tres días consecutivos que los ciclos fuesen constantes en la absorción y desorción del vapor de agua en las muestras, los ciclos eran los siguiente:
  - Ciclo de 8 horas con temperatura de 23 ° C y humedad relativa de 75 %.
  - Ciclo de 16 horas con temperatura de 23 ° C y humedad relativa de 33 %.

## Essai de capacité tampon hydrique (Moisture Buffer Value)

Ce test a été effectué selon ce qui était indiqué dans l'essai NORTEST. A partir de chaque formulation étudiée, 3 échantillons de 5 cm ont été préparés, les calculs pour obtenir la valeur MBV du matériau ont été effectués avec l'équation 24 présentée dans le cadre théorique.

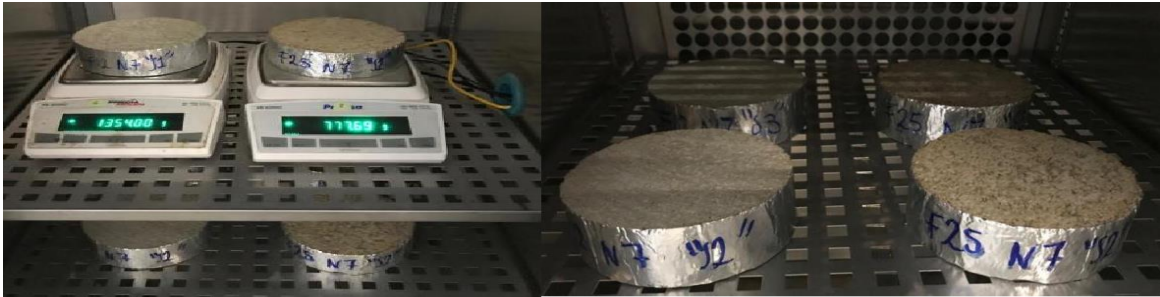
Ensuite, la méthodologie d'essai est détaillée :

1. Les spécimens sont été introduits dans un four à une température de 50 ° C, les données de masse ont été prises toutes les 24 heures, jusqu'à ce que la masse constante soit atteinte avec une variation ne plus pas 1 % entre deux données.
2. Toutes les surfaces de l'échantillon ont été recouvertes de ruban métallique adhésif, sauf une, afin de permettre l'absorption ou la désorption de vapeur d'eau sur une surface de surface connue et de générer un flux de vapeur dans seulement deux directions possibles.
3. Les spécimens sont été introduits dans une chambre chauffée automatisée, dans laquelle deux cycles devaient être répétés jusqu'à atteindre trois jours consécutifs pendant lesquels les cycles étaient constants dans l'absorption et la désorption de vapeur d'eau dans les échantillons, les cycles étaient suivants:
  - Cycle de 8 heures avec une température de 23 ° C et une humidité relative de 75 %.
  - Cycle de 16 heures avec une température de 23 ° C et une humidité relative de 33 %.



- Una muestra de cada formulación estudiada se colocó sobre una balanza de precisión de ( $\pm 0,01$ ) g, la cual tomó los datos de la masa durante todo el proceso, en intervalos de 10 minutos.
- Al alcanzar los tres ciclos constantes de absorción y desorción, se procedió a calcular el valor del MBV de la muestra con la ecuación 24 del marco teórico.
- Se repitió el proceso para las otras dos muestras de cada formulación estudiada.

- Un échantillon de chaque formulation étudiée a été placé sur une balance de précision de ( $\pm 0,01$ ) g, qui a pris des données de masse tout au long du processus, à des intervalles de 10 minutes.
- Une fois les trois cycles d'absorption et de désorption constants, la valeur MBV de l'échantillon a été calculée à l'aide de l'équation 24 du cadre théorique.
- Le processus a été répété pour les deux autres échantillons de chaque formulation étudiée.



**Figura 42.** Muestras dentro de la cámara climatizada para el ensayo de MBV.  
**Figure 42.** Échantillons à l'intérieur de la chambre chauffée pour l'essai MBV.

## Ensayo capacidad de transmisión de vapor de agua (Wetcup)

Este ensayo se realizó bajo las recomendaciones y pasos dictados en la norma ISO 12571: 2013, las muestras tenían

3 cm de alto por 16 cm de diámetro. A continuación, se detallan los pasos realizados en el ensayo:

- Se consiguió masa constante de las muestras, ingresándolas al horno a una temperatura constante de 50 ° C, se tomó el dato de la masa de las muestras cada 24 horas y hasta que se alcanzó menos del 1 % entre dos datos se continuó con el ensayo.
- Se ingresaron las muestras a una cámara climatizada, con temperatura de 23 ° C y una humedad relativa de 50 %, se esperó que las muestras nuevamente se estabilizaran ante esta condición, se tomaron datos de la masa y se continuó hasta que se alcanzó una variación menor al 1 % entre estos datos.

## Essai de capacité de transmission de vapeur d'eau (Wetcup)

Ce essai a été réalisé selon les recommandations et étapes dictées par l'ISO 12571: 2013, les spécimens mesuraient 3 cm de haut par 16 cm de diamètre. Voici les étapes du procès:

- Une masse constante des échantillons a été obtenue, en les introduisant dans le four à une température constante de 50 ° C, les données de la masse des échantillons ont été prises toutes les 24 heures et jusqu'à ce que moins de 1 % soit atteint entre deux données, a continué avec l'essai
- Les spécimens sont été introduits dans une chambre chauffée, avec une température de 23 ° C et une humidité relative de 50 %, les spécimens de variant se stabiliser à nouveau dans cette condition, des données de masse ont été prises et poursuivies jusqu'à ce qu'elles soient atteintes une variation de moins de 1 % entre ces données.

3. Se alisto un molde en el cual se agregó 380 ml de agua más 136 g de cloruro de sodio (la relación recomendada por la norma es 35,7 g de esta sal por cada 100 ml de agua para alcanzar un 75 % de humedad relativa dentro de la copa).
4. Se colocó la muestra sobre el molde y se fijó con silicón dejando expuesta una superficie ante el agua con la sal, la superficie lateral de la muestra se cubrió con cinta metálica para evitar que la humedad pudiese ingresar por esta superficie, la otra superficie superior queda expuesta al ambiente de la cámara climatizada.
5. Se ingresó la muestra a la cámara climatizada, esta vez con temperatura de 23 ° C con humedad relativa de 43 %.
6. Se tomó el dato del peso cada 24 horas y se verificó aleatoriamente en los especímenes que la humedad dentro del molde estuviese en 75 %  $\pm$  5 %.
7. Hasta alcanzar una pendiente constante de la variación de la masa con respecto al tiempo con al menos cinco datos sobre ésta pendiente, el ensayo se dio por terminado y se procedió a calcular el valor de resistencia del material contra el vapor de agua con las ecuaciones de la 25 hasta la 29, presentadas en el marco teórico.

3. Un moule a été préparé dans lequel 380 ml d'eau ont été ajoutés plus 136 g de chlorure de sodium (le rapport recommandé par la norme est de 35,7 g de ce sel pour 100 ml d'eau pour atteindre 75 % d'humidité par rapport à l'intérieur de la tasse).
4. L'échantillon a été placé sur le moule et a été fixé avec du silicone laissant une surface exposée à l'eau avec du sel, la surface latérale de l'échantillon a été recouverte de ruban métallique pour empêcher l'humidité de pénétrer dans cette surface, l'autre surface supérieure est exposée à l'environnement de la chambre chauffée.
5. L'échantillon a été introduit dans la chambre chauffée, cette fois à une température de 23 ° C avec une humidité relative de 43 %.
6. Les données de poids ont été prises toutes les 24 heures et il a été vérifié au hasard dans les spécimens que l'humidité à l'intérieur du moule était de 75 %  $\pm$  5 %.
7. Jusqu'à ce qu'une pente constante de la variation de la masse par rapport au temps avec au moins 5 données sur cette pente soit atteinte, l'essai a été terminé et la valeur de résistance du matériau à la vapeur d'eau a été calculée avec l'équation de 25 à 29, présentées dans le cadre théorique



**Figura 43.** Proceso de preparación de las muestras para el ensayo de WETCUP.  
**Figure 43.** Processus de préparation des échantillons pour l'essai WELTCUP.

## Costo de producción

A continuación, se presentan precios de los materiales utilizados en las dosificaciones y, asimismo, precios de los bloques típicos que se encuentran tanto en Costa Rica como en Francia con esto tener una idea más clara de la viabilidad económica de los bloques a realizar.

Se debe mencionar que los materiales utilizados en este proyecto, todos provinieron de Francia, así que se busca materiales similares en Costa Rica con el fin de comparar precios.

## Coût de production

Ensuite, les prix des matériaux utilisés dans les dosages sont présentés, ainsi que les prix des blocs typiques que l'on trouve au Costa Rica et en France et avec cela ont une idée plus claire de la viabilité économique des blocs à fabriquer.

Il convient de mentionner que les matériaux utilisés dans ce projet provenaient tous de France, donc des matériaux similaires sont recherchés au Costa Rica afin de comparer les prix.

**Tabla 8.**

**Precios de materiales similares utilizados en las dosificaciones y bloques típicos en Costa Rica.**

Tableau 8.

Prix des matériaux similaires utilisés dans les dosages et les blocs typiques au Costa Rica.

Material Matériaux	Cantidad Quantité	Precio €	Prix €
Cemento tipo II (Cement type II)	1 Saco 50 kg/Sac	7 400,00	11,43
Cáscara de Arroz (Balle de Riz)	1 ton	55 000,00	84,97
Agua (Eau)	1 m <sup>3</sup>	1 250,00	1,93
Bloque 12x20x40 cm (Bloc)	1 und.	395,00	0,61
Bloque 15x20x40 cm (Bloc)	1 und.	539,00	0,83
Bloque 20x20x40 cm (Bloc)	1 und.	695,00	1,07
Concreto clásico (210 kg/cm <sup>2</sup> ) Béton classique (20,6 MPa)	1 m <sup>3</sup>	89 000,00	137,56
Concreto clásico (175 kg/cm <sup>2</sup> )* Béton classique (17,2 MPa)	1 m <sup>3</sup>	70 250,00	108,53

Fuente. Elaboración propia.

Source. Elaboration propre.

**Tabla 9.****Precios de materiales utilizados en las dosificaciones y bloques típicos en Francia.**

Tableau 9.

Prix des matériaux utilisés dans les dosages et les blocs typiques en France.

Material Matériaux	Cantidad Quantité	Precio ₡	Prix €
Cemento tipo II (Cement type II)	1 Saco 35 kg/Sac	5 560,13	8,59
Cáscara de Arroz (Balle de Riz)	1 ton	64 728,00	100,00
Agua (Eau)	1 m <sup>3</sup>	1 941,84	3,00
Bloque 15x20x50 cm (Bloc)	1 und.	614,92	0,95
Bloque de cáñamo 12x30x60 cm (Bloc du chanvre)	1 und.	4 621,58	7,14
Bloque de cáñamo 20x30x60 cm (Bloc du chanvre)	1 und.	7 650,85	11,82
Concreto clásico (255 kg/cm <sup>2</sup> ) Béton classique (25 MPa)	1 m <sup>3</sup>	97 092,00	150,00

Fuente. Elaboración propia.

Source. Élaboration propre.

Nota/Note: 1 € = ₡ 647,28

\*Concreto no estructural

Precios consultados en:

El Lagar (CR).

Ing. Construcción Leitón Brenes

LEROY Merlin (Fr.)

ISOHEMP (Fr).

CANNABRIC (Fr).

\*Béton non structurel

Prix consultés en:

El Lagar (CR).

Ingénieur de construction Leitón Brenes

LEROY Merlin. (Fr).

ISOHEMP (Fr).

CANNABRIC (Fr).

# Resultados

## Caracterización de la cáscara de arroz

### Densidad no compacta

Se calculó el promedio de los datos obtenidos mediante el procedimiento descrito en la metodología, obteniendo una densidad aparente no compactada promedio para la caída del material a 10 cm.

Tabla 10.  
Densidad no compactada promedio

		Caída del material 10 cm
Densidad suelta		113,18
promedio (kg/m <sup>3</sup> )		

Fuente. Elaboración propia

Densidad no compactada promedio a reportar:  
 $\rho$ : 113 kg/m<sup>3</sup>

### Granulometría

En las tablas 11 y 12 se muestran los promedios de los porcentajes pasando y retenido en los tamices utilizados, la tabla 11 corresponde a la cáscara de arroz tomada del primer apilamiento (saco) y la tabla 12 corresponde al segundo apilamiento de material (contenedor).

# Résultats

## Caractérisation de la balle de riz

### Densité non compactée

La moyenne des données obtenues a été calculée en utilisant la procédure décrite dans la méthodologie, en obtenant une densité apparente moyenne non compactée pour la chute du matériau à 10 cm.

Tableau 10.  
Densité non compactée moyenne

		Hauteur de chute 10 cm
Densité non compactée		113,18
moyenne (kg/m <sup>3</sup> )		

Source. Elaboration propre

Densité non compactée moyenne à report:  
 $\rho$ : 113 kg/m<sup>3</sup>

### Granulométrie

Les tableaux 11 et 12 montrent les moyennes des pourcentages de passant et de refus dans les tamis utilisés, le tableau 11 correspond à la balle de riz extraite du premier empilement (sac) et le tableau 12 correspond au second empilement (conteneur).

**Tabla 11.**  
**Granulometría de la cáscara de arroz del primer apilamiento**

Tableau 11.

Granulométrie de la balle de riz du premier empilement

Tamiz No. (mm) Tamis No. (mm)	Material Retenido en el tamiz (g) Matériau retenu dans le tamis (g)	% del material retenido en el tamiz % de matériau retenu dans le tamis	% del material retenido acumulado % de matériau retenu accumulé	% del material pasando el tamiz % de matériau passant le tamis
10,00	0,00	0,00	0,00	100,00
5,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2,50	0,26	1,33	1,33	98,67
1,25	16,68	83,75	85,08	14,92
1,00	0,63	3,17	88,25	11,75
0,63	1,85	9,31	97,56	2,44
Charola	0,49	2,44	100,00	
Σ	19,91			

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

**Tabla 12.**  
**Granulometría de la cáscara de arroz del segundo apilamiento**

Tableau 12.

Granulométrie de la balle de riz du deuxième empilement

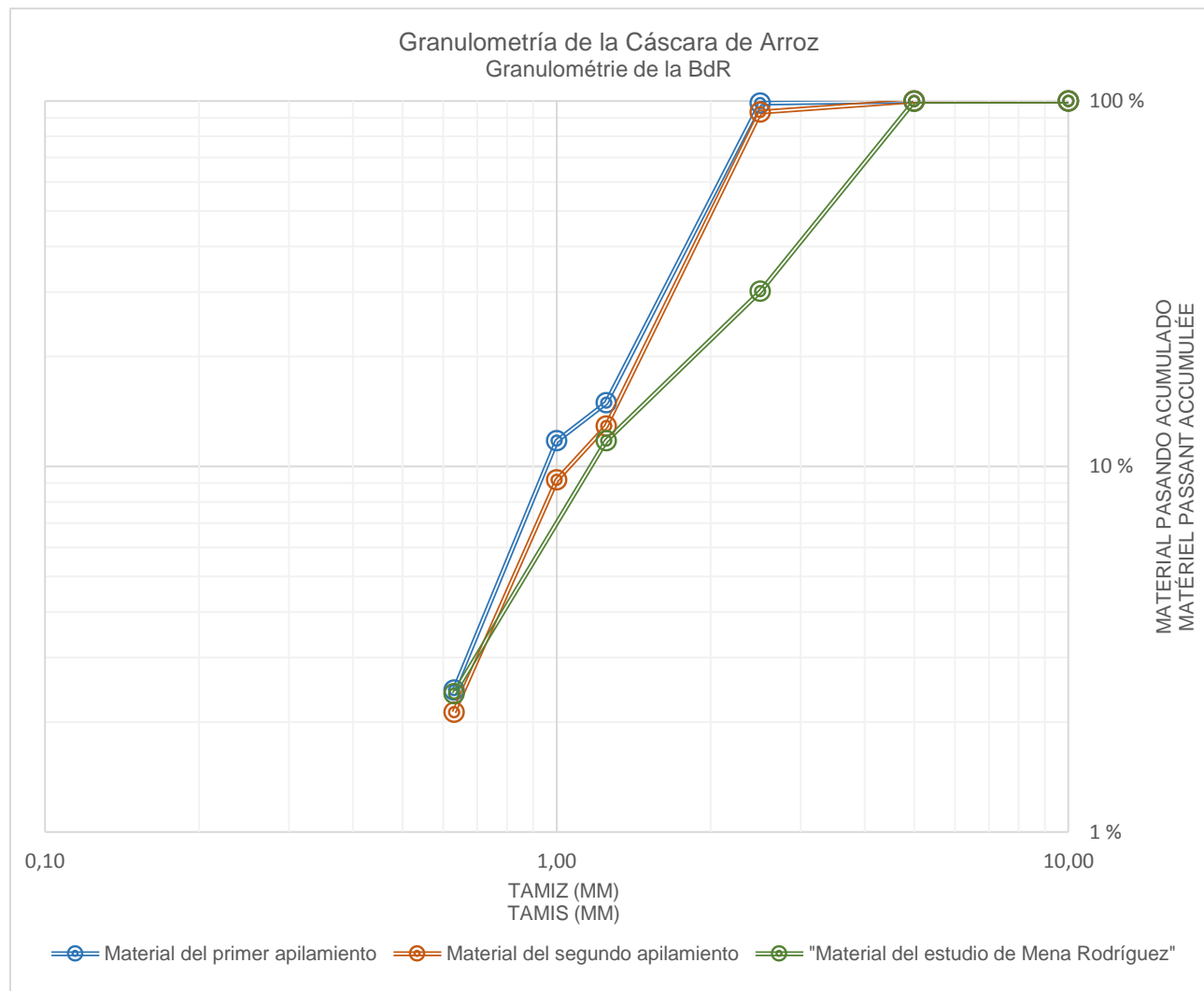
Tamiz No. (mm) Tamis No. (mm)	Material Retenido en el tamiz (g) Matériau retenu dans le tamis (g)	% del material retenido en el tamiz % de matériau retenu dans le tamis	% del material retenido acumulado % de matériau retenu accumulé	% del material pasando el tamiz % de matériau passant le tamis
10,00	0,00	0,00	0,00	100,00
5,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2,50	1,34	6,79	6,79	98,21
1,25	15,91	80,33	87,11	12,89
1,00	0,73	3,17	90,82	9,18
0,63	1,40	7,06	97,56	2,13
Charola	0,42	2,13	100,00	
Σ	19,81			

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

A continuación, se presenta gráficamente los valores de los porcentajes del material pasando acumulado en los tamices utilizados, además se presenta la gráfica de los datos de la investigación de (Mena Rodríguez, 2019), a modo comparativo.

Ensuite, les valeurs des pourcentages du matériau passant accumulé dans les tamis utilisés sont présentées graphiquement, en plus le graphique des données de recherche de (Mena Rodríguez, 2019) est présenté, de manière comparative.



**Figura 44.** Curva granulométrica de la cáscara de arroz en estudio.

**Figure 44.** Courbe granulométrique de la balle de riz étudiée.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

## Absorción de agua

A continuación, en la tabla 13 se presentan los datos obtenidos de la absorción de agua de la cáscara de arroz usada en el proyecto, con respecto a su peso seco en diferentes tiempos de

## Absorption d'eau

Ensuite, le tableau 13 montre les données obtenues à partir de l'absorption d'eau de la balle de riz, utilisée dans le projet, en ce qui concerne son poids sec à différentes périodes d'étude. Ces

estudio. En las figuras 45 y 46 se muestra de manera gráfica estos datos.

figures sont représentées graphiquement aux figures 45 et 46.

**Tabla 13.**  
**Información de absorción de la cáscara de arroz en estudio**

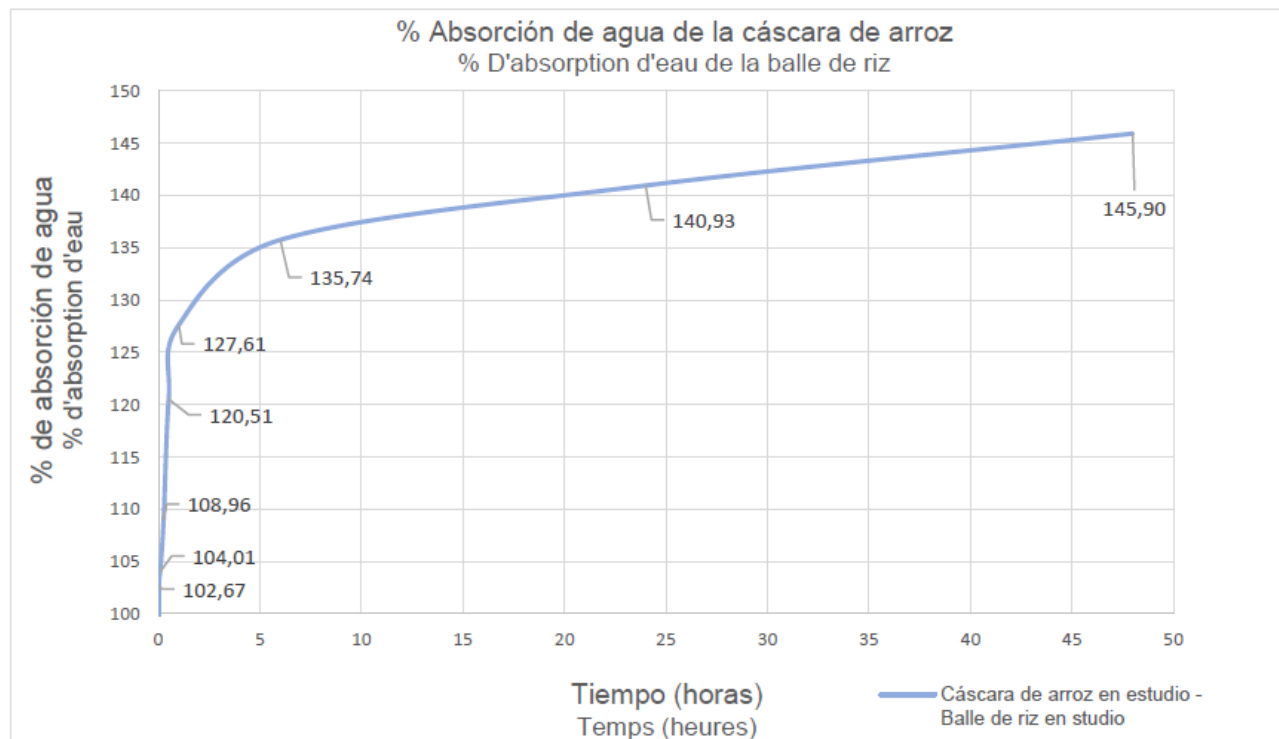
Tableau 13.

Informations sur l'absorption de la balle de riz à l'étude

Tiempo de estudio Temps d'étude	Masa seca promedio ingresada (g) Masse sèche moyenne entrée (g)	Masa húmeda promedio medida (g) Masse humide moyenne mesurée (g)	% de absorción % d'absorption
0	-	-	0
1 min	25,40	51,08	102,67
5 min	25,13	52,29	104,01
15 min	25,21	52,46	108,96
30 min	24,42	54,56	120,51
1 h	24,33	56,45	127,61
6 h	24,33	58,40	135,74
24 h	24,17	59,41	140,93
48 h	24,23	60,72	145,90

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



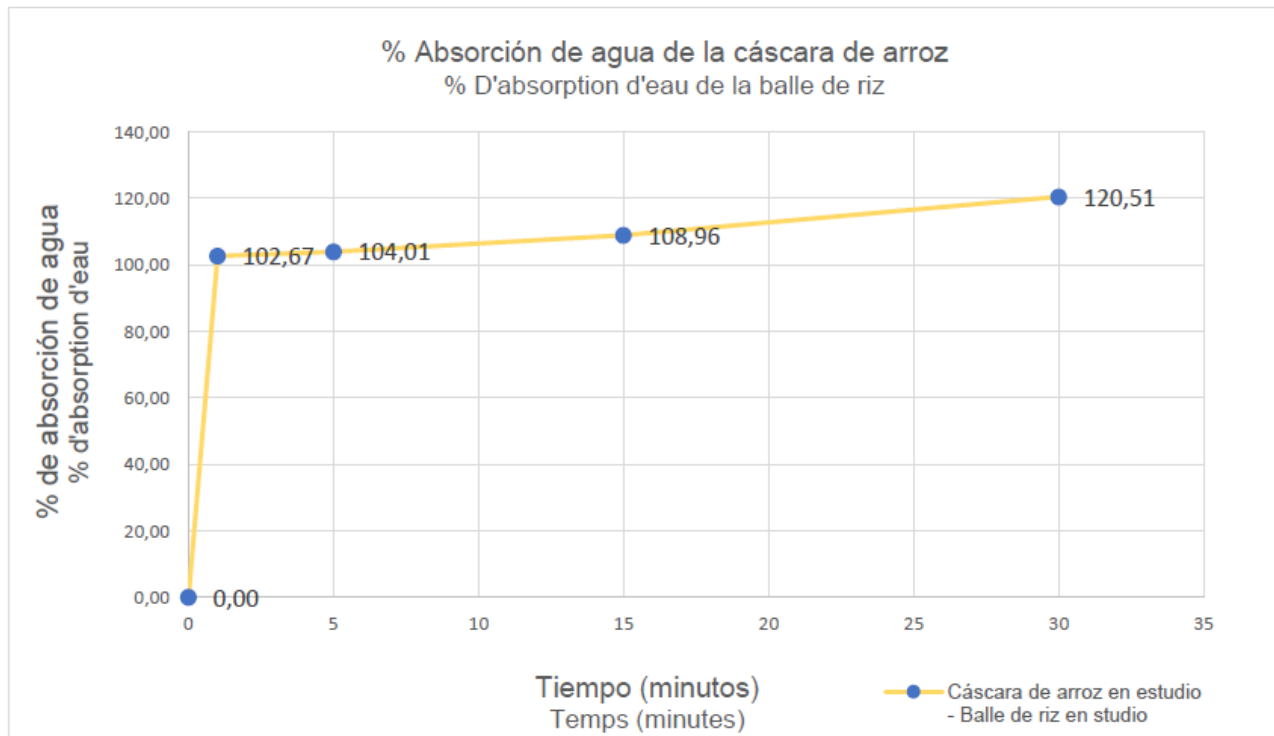
**Figura 45.** Curva del porcentaje de absorción de agua respecto al tiempo de la cáscara de arroz en estudio.

**Figure 45.** Courbe du pourcentage d'absorption d'eau par rapport au temps de la balle de riz à l'étude.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.





**Figura 46.** Curva del porcentaje de absorción de agua respecto al tiempo de la cáscara de arroz en estudio.

**Figure 46.** Courbe du pourcentage d'absorption d'eau par rapport au temps de la balle de riz à l'étude.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

## Formulación de mezclas de bio-concreto

### Formulación de mezclas de bio-concreto

A continuación, se muestra una tabla de resumen de las formulaciones estudiadas por diferentes investigadores entre el 2018-2019, la información fue tomada de los trabajos de investigación de (Mardama Nayagom, 2019) y (Mena Rodríguez, 2019). Además, los datos obtenidos de las formulaciones propuestas en este proyecto para la escogencia de las dos formulaciones con las que se elaboraran los elementos finales de estudio, como cilindros, prismas y bloques.

## Formulation de mélanges de bio béton

### Formulation de mélanges de béton biologique

Ci-dessous un tableau récapitulatif des formulations étudiées par différents chercheurs entre 2018-2019, les informations ont été extraites des travaux de recherche de (Mardama Nayagom, 2019) et (Mena Rodríguez, 2019). En plus des données obtenues des formulations proposées dans le présent projet pour le choix les deux formulations avec lesquelles les éléments finaux d'étude seront élaborés, tels que cylindres, prismes et blocs.

**Tabla 14.**

**Resumen de las formulaciones de concreto con cáscara de arroz estudiadas por diferentes investigadores.**

Tableau 14.

Résumé des formulations concrètes d'enveloppes de riz étudiées par différents chercheurs.

Investigador Chercheur	Ligante Liant	Formulación Formulation	$\sigma$ máx promedio reportada $\sigma$ max moyenne rapporté (MPa)
Mardama Nayagom N.	CEM II 32,5 Lafarge	F300	0,40
			0,58
			1,25
			0,87
			1,23
			1,36
			0,19
			0,41
			0,19
			0,43
Mena Rodríguez I.	CEM II 32,5 Vicat	F300	0,19
			0,43
			0,19
			0,41
			0,53
	CEM Prompt	F200	0,99
			0,82
			1,33
			0,32
			0,23
	Chaux Akta	F350	0,48
			0,94
			2,05
			1,84
			3,93
	Thermo	F500	4,44
			3,10
			5,34

Fuente. Trabajos de investigación de (Mardama Nayagom, 2019) y (Mena Rodríguez, 2019).

Source. Travaux de recherche de (Mardama Nayagom, 2019) et (Mena Rodríguez, 2019).

Notas sobre la tabla 14:

1. Resistencia a la compresión ( $\sigma$ ) máxima promedio reportada, no todos corresponden a 28 días.

Ahora, se presenta en las tablas 15, 16, 17, 18 y 19 el resumen de la información obtenida durante la preparación de las diferentes formulaciones de bio-concreto y así mismo los resultados del ensayo de la resistencia a la compresión en cilindros para cada formulación.

Notes sur le tableau 14 :

1. Résistance à la compression ( $\sigma$ ) maximum rapporté, tous ne correspondent pas à 28 jours.

Maintenant, le résumé des informations obtenues lors de la préparation des différentes formulations de bio-béton et les résultats d'essai de résistance a la compression en cylindres, pour chaque formulation, sont présentes dans les tableaux 15, 16, 17, 18 et 19.

**Tabla 15.**

**Dosificaciones de bio-concreto estudiadas en este proyecto en función a la densidad aparente no compacta (113 kg/m<sup>3</sup>) de la cáscara de arroz utilizada.**

Tableau 15.

Dosages de bio-béton étudiés dans ce projet sur la base de la densité apparente non compacte (113 kg/m<sup>3</sup>) de la balle de riz utilisée.

Ligante Liant	Nombre de la formulación Nom du formulation	Relación Ligante/Granular Liant/BdR	Rapport Agua/Ligante Eau/Liant
Cemento Tipo II	F1 F250	2,21	0,50
Optimat Vicat 32,5	F2 F250	2,21	0,70
Ciment Type II	F3 F250	2,21	0,90
Optimat Vicat 32,5	F4 F250	2,21	0,70
Cal natural Vicat	F5 F250	2,21	0,90
Chaux naturelle	F6 F250	2,21	1,10
Rapide Vicat	F8 F500	4,42	0,50
	F9 F500	4,42	0,60
	F92 F500	4,42	0,45
	F10 F600	5,31	0,60
Cemento Tipo II	F11 F600	5,31	0,50
Optimat Vicat 32,5	F12 F600	5,31	0,45
	F13 F700	6,19	0,50
Ciment Type II	F14 F700	6,19	0,45
Optimat Vicat 32,5	F15 F700	6,19	0,40
	F16 F750	6,64	0,50
	F17 F750	6,64	0,45
	F18 F650	5,75	0,50
	F19 F650	5,75	0,45
	F20 F550	4,87	0,45
	F21 F280	2,48	0,50
	F22 F300	2,65	0,50
	F23 F320	2,83	0,50
	F24 F350	3,10	0,50

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

**Tabla 16.**

**Resumen de la información principal de las primeras 6 formulaciones estudiadas en la primera fase del proyecto.**

Tableau 16.

Résumé des principales informations des 6 premières formulations étudiées dans le premier fase du projet.

Formulación Formulation	Ligante Liant	A/L E/L	$\rho_o$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{ae}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$P_{ft}$ (kg/m <sup>3</sup> )	Tipo de curado Type de cure
F1 F250	CEM II 32,5	0,50	668	570	599	Cilindros con molde por 24 días, 96 horas antes del ensayo se ingresaron al horno a 50 ° C.
F2 F250	Optimat Vicat	0,70	766	630	623	
F3 F250		0,90	826	669	614	
F4 F250		0,70	715	707	-	
F5 F250	Cal Natural	0,90	805	(.)	-	
F6 F250		1,10	832	828	-	

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

Notas sobre la tabla 16:

- $\rho_o$ : densidad inicial promedio de tres cilindros a ensayar.
- $\rho_{ae}$ : densidad antes del ensayo de tres cilindros a ensayar.
- $\rho_{ft}$ : densidad final teórica, ecuación 8.
- Tamaño del cilindro 16 cm de diámetro/32 cm de altura.
- El dato de la densidad promedio antes del ensayo para los cilindros de la formulación F5, no se obtuvo debido a que estos se quebraron durante el transporte del horno a la máquina de ensayo.

Notes sur le tableau 16:

- $\rho_o$ : densité initiale moyenne de trois cylindres à tester.
- $\rho_{ae}$ : densité avant l'essai à trois cylindres à tester.
- $\rho_{ft}$ : densité finale théorique, équation 8.
- Cylindre de 16 cm de diamètre/32 cm de hauteur.
- Les données de densité moyenne avant l'essai pour les cylindres de la formulation F5 n'ont pas été obtenues car elles ont été cassées pendant le transport du four vers la machine d'essai.

**Tabla 17.**

**Información obtenida del ensayo de compresión en cilindros de las primeras 6 formulaciones estudiadas en la primera fase.**

Tableau 17.

Informations issues d'essai de compression sur cylindres des 6 premières formulations étudiées dans première fase.

Formulación Formulation	$\rho_{ae}$ (kg/m <sup>3</sup> )	RC máx. promedio 28 días RC max. moyenne 28 jours (MPa)	E promedio 28 días E moyenne 28 jours (MPa)	$\epsilon$ (mm/mm) para $\sigma$ max $\epsilon$ (mm/mm) pour $\sigma$ max (28 días)
F1 F250 CEM II 32,5 E/L: 0,5	570	0,162	2,5	0,128
F2 F250 CEM II 32,5 E/L: 0,7	630	0,228	4,4	0,144
F3 F250 CEM II 32,5 E/L: 0,9	669	0,306	19,20	0,067
F4 F250 Cal Natural E/L: 0,7	707	0,149	1,6	0,166
F5 F250 Cal Natural E/L: 0,9	(.)	-	-	-
F6 F250 Cal Natural E/L: 1,1	828	0,194	3,6	0,160

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 47.** Cilindros de bio-concreto de la formulación F5 F250 Cal Natural A/L: 0,90 a los 28 días.

**Figure 47.** Cylindres en béton biologique de la formulation F5 F250 Chaux Naturelle E/L : 0,90 à 28 jours.

En las siguientes figuras se muestra los cilindros de bio-concreto después del ensayo destructivo de la resistencia a la compresión, las formulaciones estudiadas en esta fase fueron de la F1 hasta la F6.

Les figures suivantes montrent les cylindres en bio-béton après l'essai destructif de résistance à la compression, les formulations étudiées au cours de cette phase vont de F1 à F6.



**Figura 48.** Cilindros de bio-concreto formulaciones F1 a F3 (ligante CEM II 32,5) ensayados a la resistencia a la compresión a los 28 días.

**Figure 48.** Formulations des cylindres de béton biologique F1 à F3 (liant CEM II 32.5) testées pour la résistance à la compression à 28 jours.



**Figura 49.** Cilindros de bio-concreto formulaciones F4 y F6 (ligante Cal Natural) ensayados a la resistencia a la compresión a los 28 días.

**Figure 49.** Formulations de cylindres de bio béton F4 et F6 (liant Chaux Naturelle) testées pour la résistance à la compression à 28 jours.

**Tabla 18.**

**Información de densidad inicial y resistencia a la compresión a 7 y 28 días de las 18 formulaciones estudiadas en la fase 2 del proyecto.**

Tableau 18.

Information initiale sur la densité et la résistance à la compression à 7 et 28 jours des 18 formulations étudiées dans la phase 2 du projet.

Formulación Formulation	A/L E/L	$\rho_o$ (kg/m <sup>3</sup> )	RC máx. promedio 7 días RC max. moyenne 7 jours (MPa)	RC máx. promedio 28 días RC max. moyenne 28 jours (MPa)
F8 F500 CEM II 32,5	0,50	1 470	1,3	1,4
				1,3
F9 F500 CEM II 32,5	0,60	1 507	1,9	2,0
				2,3
F92 F500 CEM II 32,5	0,45	1 497	1,5	1,3
				1,6
F10 F600 CEM II 32,5	0,60	1 568	3,1	3,2
				3,6
F11 F600 CEM II 32,5	0,50	1 730	2,9	3,3
				3,8
F12 F600 CEM II 32,5	0,45	1 718	4,1	3,3
				4,1
F13 F700 CEM II 32,5	0,50	1 705	6,1	6,5
				6,7
F14 F700 CEM II 32,5	0,45	1 853	5,9	6,5
				6,0
F15 F700 CEM II 32,5	0,40	1 852	6,7	7,4
				6,3
F16 F750 CEM II 32,5	0,50	1 671	5,4	5,0
				6,3
F17 F750 CEM II 32,5	0,45	1 819	5,3	6,1
				5,0
F18 F650 CEM II 32,5	0,50	1 744	4,7	4,2
				4,7
F19 F650 CEM II 32,5	0,45	1 825	4,5	4,1
				4,7
F20 F550 CEM II 32,5	0,45	1 637	2,3	2,3
				2,5
F21 F280 CEM II 32,5	0,50	1 012	0,2	-
				0,5
F22 F300 CEM II 32,5	0,50	1 075	0,3	0,8
				0,7
F23 F320 CEM II 32,5	0,50	1 137	0,3	0,7
				0,7
F24 F350 CEM II 32,5	0,50	1 233	0,4	1,0
				1,0

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

**Tabla 19.**

**Información de los cilindros antes del ensayo de compresión a los 28 días de las 18 formulaciones estudiadas en la fase 2 del proyecto.**

Tableau 19.

Informations sur le cylindre avant l'essai de compression à 28 jours des 18 formulations étudiées dans la phase 2 du projet.

Formulación Formulation	Nº cilindro Nº cylindre	A/L E/L	$\rho_o$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{ae}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{ft}$ (kg/m <sup>3</sup> )	Ingreso al horno Entrée à le four
F8 F500	N1	0,50	1 470	1 149	1 300	
	N2 y N3			1 164		
F9 F500	N1	0,60	1 507	1 112	1 259	
	N2 y N3			1 145		
F92 F500	N1	0,45	1 497	1 167	1 363	
	N2 y N3			1 201		
F10 F600	N1	0,60	1 568	1 149	1 305	
	N2 y N3			1 202		
F11 F600	N1	0,50	1 730	1 373	1 525	
	N2 y N3			1 404		
F12 F600	N1	0,45	1 718	1 408	1 561	
	N2 y N3			1 481		
F13 F700	N1	0,50	1 705	1 388	1 500	7 días antes del ensayo
	N2 y N3			1 393		
F14 F700	N1	0,45	1 853	1 477	1 681	7 jours avant l'essai
	N2 y N3			1 544		
F15 F700	N1	0,40	1 852	1 527	1 733	
	N2 y N3			1 578		
F16 F750	N1	0,50	1 671	1 324	1 469	
	N2 y N3			1 395		
F17 F750	N1	0,45	1 819	1 479	1 649	
	N2 y N3			1 530		
F18 F650	N1	0,50	1 744	1 362	1 536	
	N2 y N3			1 456		
F19 F650	N1	0,45	1 825	1 440	1 656	
	N2 y N3			1 524		
F20 F550	N1	0,45	1 637	1 256	1 489	
	N2 y N3			1 326		
F21 F280	N1	0,50	1 012	(.)	906	
	N2 y N3			892		
F22 F300	N1	0,50	1 075	807	960	Sin ingreso al horno
	N2 y N3			958		
F23 F320	N1	0,50	1 137	896	1 014	Ne sont pas entrés dans le four
	N2 y N3			1 018		
F24 F350	N1	0,50	1 233	979	1 098	
	N2 y N3			1 115		

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



Notas sobre la tabla 19:

- Se utilizó cemento tipo II Optimat Vicat 32,5 como ligante para todas las formulaciones presentadas en la tabla.
- Tamaño de los cilindros 11 cm de diámetro y 32 cm de altura.
- El dato de la densidad inicial ( $\rho_o$ ) es promedio para los tres cilindros por que las condiciones iniciales fueron las mismas.
- El dato densidad antes del ensayo ( $\rho_{ae}$ ) se promedia solo para los cilindros que presentan las mismas condiciones de desmolde.
- $\rho_H$ : densidad final teórica.
- De la formulación F8 a F20 cilindro 1 desmoldado a la edad de 1 día, cilindros 2 y 3 a la edad de 21 días.
- De la formulación F21 a F24 cilindro 1 desmoldado a la edad de 1 día, cilindros 2 y 3 a la edad de 28 días.
- (.) cilindro quebrado al desmoldar.

Notes sur le tableau 19:

- Le ciment de type II Optimat Vicat 32,5 a été utilisé comme liant pour toutes les formulations présentées dans le tableau.
- Cylindre de 11 cm de diamètre y 32 cm de hauteur.
- Les données de densité initiale ( $\rho_o$ ) sont moyennes pour les trois cylindres car les conditions initiales étaient les mêmes.
- Les données de densité avant l'essai ( $\rho_{ae}$ ) sont moyennées uniquement pour les cylindres qui ont les mêmes conditions de démoulage.
- $\rho_{ic}$ : densité finale théorique.
- De la formulation F8 à F20 cylindre 1 démoulé à l'âge de 1 jour, cylindres 2 et 3 à l'âge de 21 jours.
- De la formulation F21 au F24 cylindre 1 démoulé à l'âge de 1 jour, cylindres 2 et 3 à l'âge de 28 jours.
- (.) cylindre cassé lors du démoulage.

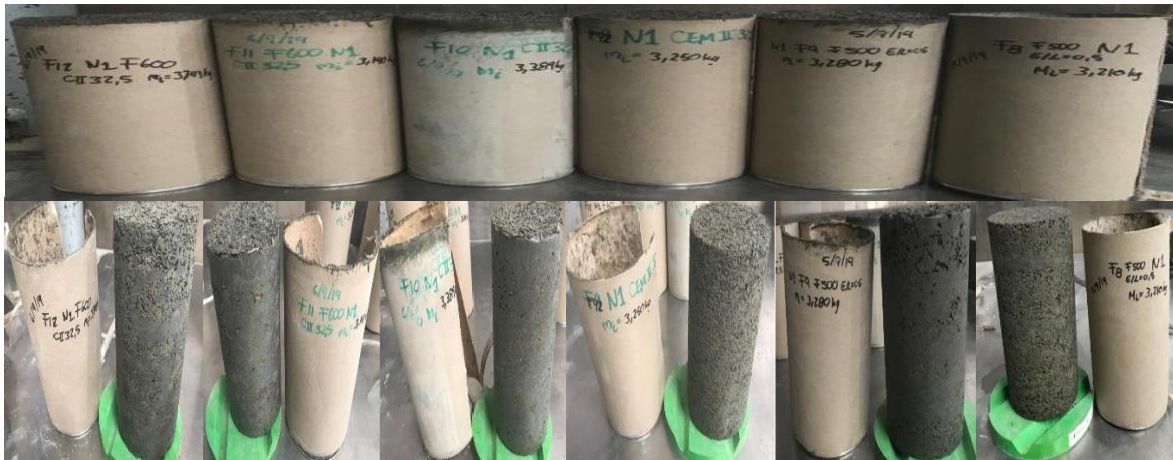


Figura 50. Cilindros de las formulaciones de la F8 hasta F12 antes y después de quitar el molde con 24 horas de edad.  
Figure 50. Cylindres des formulations de F8 à F12 avant et après le démoulage à 24 heures.



Figura 51. Cilindros de las formulaciones de la F21 hasta F23 después de quitar el molde con 24 horas de elaboración.  
Figure 51. Cylindres des formulations de F21 à F23 après le démoulage à 24 heures.



**Tabla 20.****Información obtenida del ensayo de compresión de las 18 formulaciones estudiadas en la fase 2 del proyecto.**

Tableau 20.

Informations issues d'essai de compression des 18 formulations étudiées en phase 2 du projet.

Formulación Formulation	Nº cilindro Nº cylindre	$\rho_{ae}$ (kg/m <sup>3</sup> )	RC máx. promedio	E promedio 28	$\varepsilon$ (mm/mm) para $\sigma$
			28 días RC max. moyenne 28 jours (MPa)	días E moyenne 28 jours (MPa)	max $\varepsilon$ (mm/mm) pour $\sigma$ max (28 días)
F8 F500 CEM II 32,5 E/L: 0,50	N1	1 149	1,4	140,0	0,031
	N2 y N3	1 164	1,3	136,7	0,040
F9 F500 CEM II 32,5 E/L: 0,60	N1	1 112	2,0	175,0	0,017
	N2 y N3	1 145	2,3	195,5	0,013
F92 F500 CEM II 32,5 E/L: 0,45	N1	1 167	1,3	112,5	0,041
	N2 y N3	1 201	1,6	130,0	0,027
F10 F600 CEM II 32,5 E/L: 0,60	N1	1 149	3,2	242,9	0,018
	N2 y N3	1 202	3,6	297,0	0,015
F11 F600 CEM II 32,5 E/L: 0,50	N1	1 373	3,3	229,9	0,024
	N2 y N3	1 404	3,8	370,2	0,017
F12 F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45	N1	1 408	3,3	236,0	0,033
	N2 y N3	1 481	4,1	402,2	0,015
F13 F700 CEM II 32,5 E/L: 0,50	N1	1 388	6,5	555,6	0,019
	N2 y N3	1 393	6,7	615,8	0,019
F14 F700 CEM II 32,5 E/L: 0,45	N1	1 477	6,5	512,8	0,021
	N2 y N3	1 544	6,0	641,1	0,013
F15 F700 CEM II 32,5 E/L: 0,40	N1	1 527	7,4	563,6	0,017
	N2 y N3	1 578	6,3	604,0	0,015
F16 F750 CEM II 32,5 E/L: 0,50	N1	1 324	5,0	512,8	0,015
	N2 y N3	1 395	6,3	673,5	0,015
F17 F750 CEM II 32,5 E/L: 0,45	N1	1 479	6,1	520,0	0,021
	N2 y N3	1 530	5,0	615,2	0,013
F18 F650 CEM II 32,5 E/L: 0,50	N1	1 362	4,2	483,9	0,021
	N2 y N3	1 456	4,7	531,7	0,014
F19 F650 CEM II 32,5 E/L: 0,45	N1	1 440	4,1	433,3	0,024
	N2 y N3	1 524	4,7	515,5	0,014
F20 F550 CEM II 32,5 E/L: 0,45	N1	1 256	2,3	133,3	0,034
	N2 y N3	1 326	2,5	197,7	0,020
F21 F280 CEM II 32,5 E/L: 0,50	N1	(.)	-	-	-
	N2 y N3	892	0,5	7,5	0,190
F22 F300 CEM II 32,5 E/L: 0,50	N1	807	0,8	19,0	0,152
	N2 y N3	958	0,7	6,0	0,220
F23 F320 CEM II 32,5 E/L: 0,50	N1	896	0,7	25,0	0,123
	N2 y N3	1 018	0,7	9,5	0,180
F24 F350 CEM II 32,5 E/L: 0,50	N1	979	1,0	68,0	0,144
	N2 y N3	1 115	1,0	40,5	0,122

Fuente. Elaboración propia.

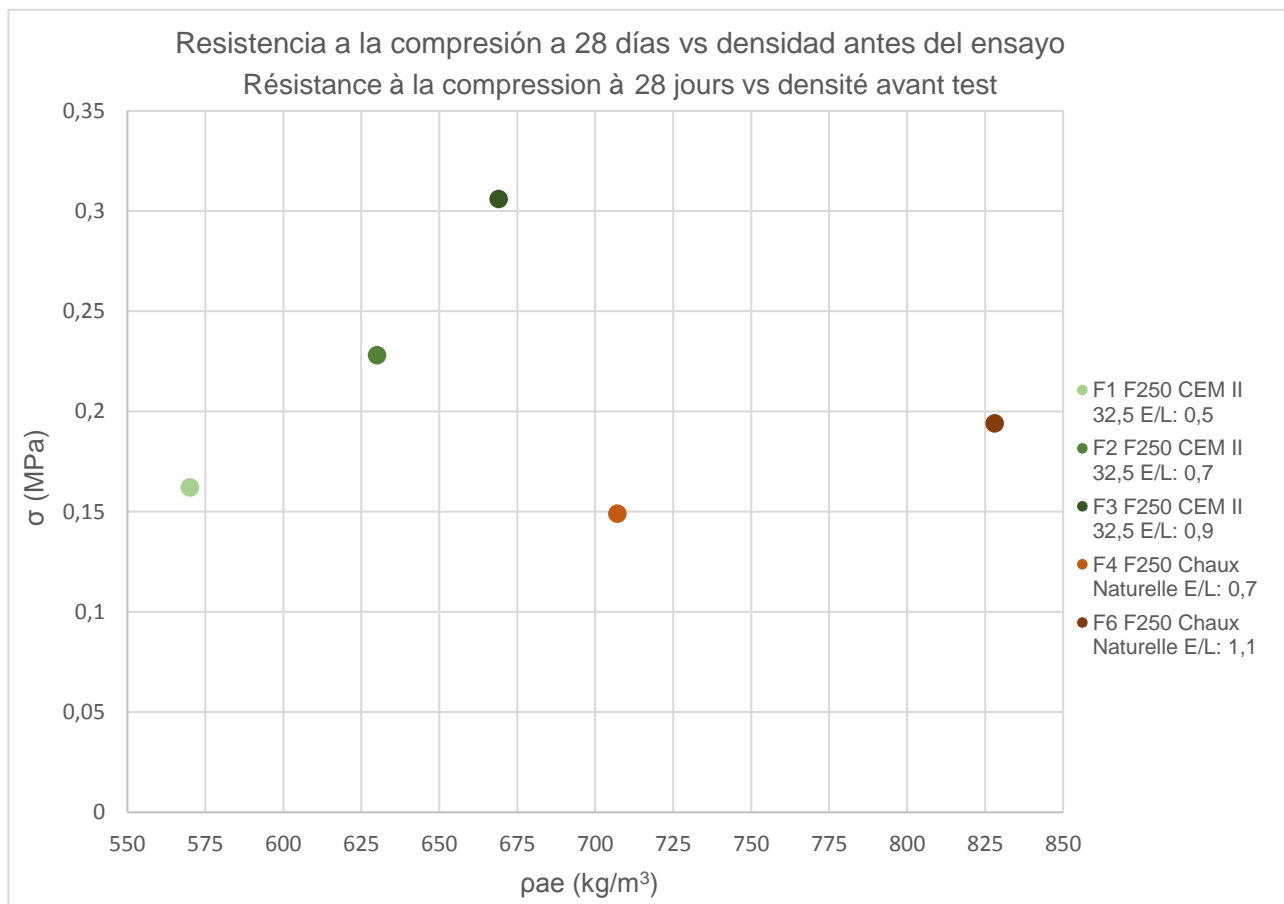
Source Élaboration propre.

De las tablas anteriores se puede comparar algunos resultados como la resistencia a la compresión vs densidad de la formulación antes del ensayo obtenidas en las diferentes formulaciones, así mismo el porcentaje de variación entre la densidad inicial y la densidad obtenida antes de los ensayos según formulación y tipo de curado y también la densidad final calculada, la relación agua/ligante vs la densidad inicial para las diferentes cantidades de ligante por metro cubico de agregado granular, además se muestra la resistencia a la compresión vs deformaciones de las diferentes formulaciones.

Esta información se vuelve más sencilla de interpretar mediante gráficos, por lo que se a continuación se muestran los resultados de manera gráfica.

A partir des tableaux ci-dessus, certains résultats peuvent être comparés, tels que la résistance à la compression vs la densité de les cylindres avant l'essai obtenu dans les différentes formulations, ainsi que le pourcentage de variation entre la densité initiale et la densité obtenue avant l'essai selon la formulation et le type lors du durcissement, le rapport eau/liant vs la densité initiale pour les différentes quantités de liant par mètre cube de mélange, en plus la résistance à la compression vs déformations des différentes formulations est montré.

Ces informations deviennent plus faciles à interpréter à l'aide de graphiques, les résultats sont donc représentés graphiquement ci-dessous

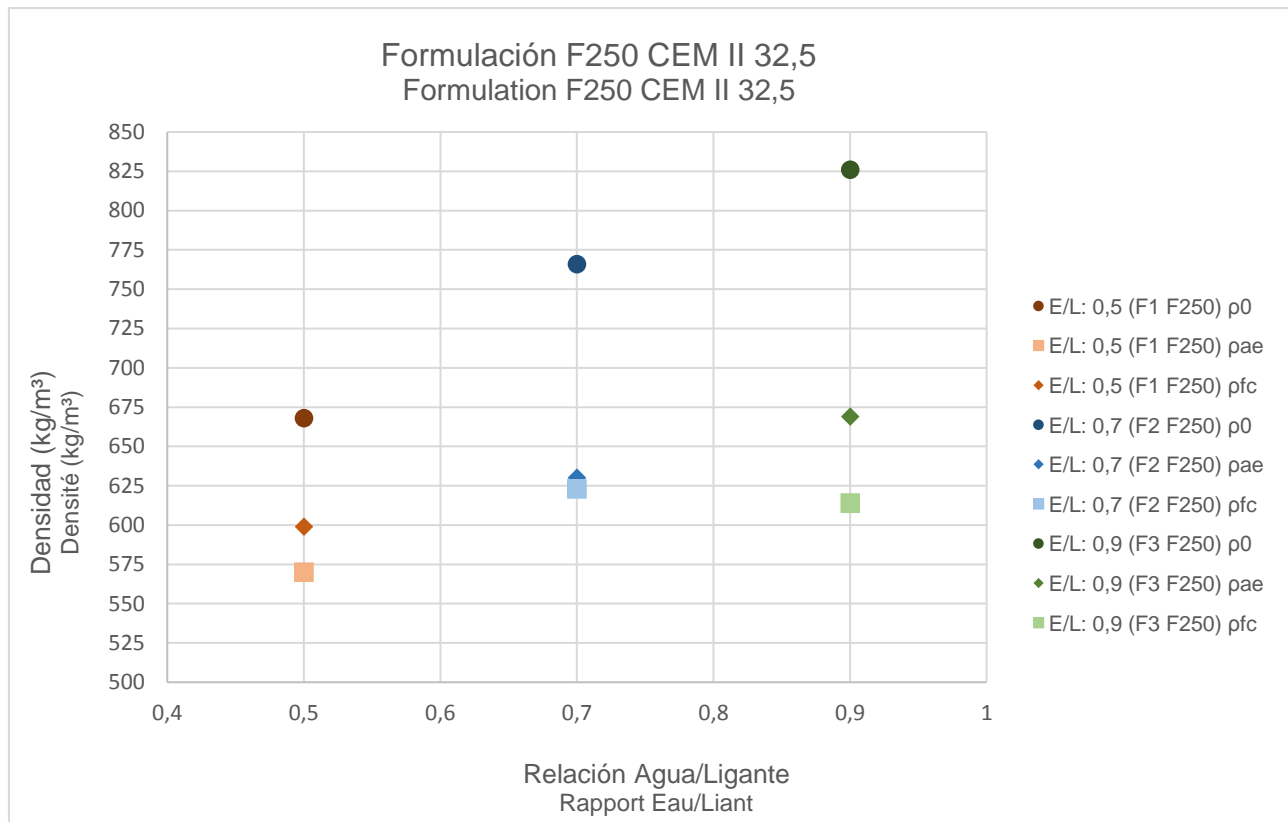


**Figura 52.** Distribución resistencia a la compresión a los 28 días versus densidad antes del ensayo de formulaciones F1 a F6 .

**Figure 52.** Distribution de la résistance à la compression à 28 jours en fonction de la densité avant de tester les formulations F1 a F6.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 53.** Variación de densidades versus relación agua/ligante de las formulaciones F1 a la F3.

**Figure 53.** Variation de la densité en fonction du rapport eau/liant des formulations F1 à F3.

Fuente. Elaboración propia.

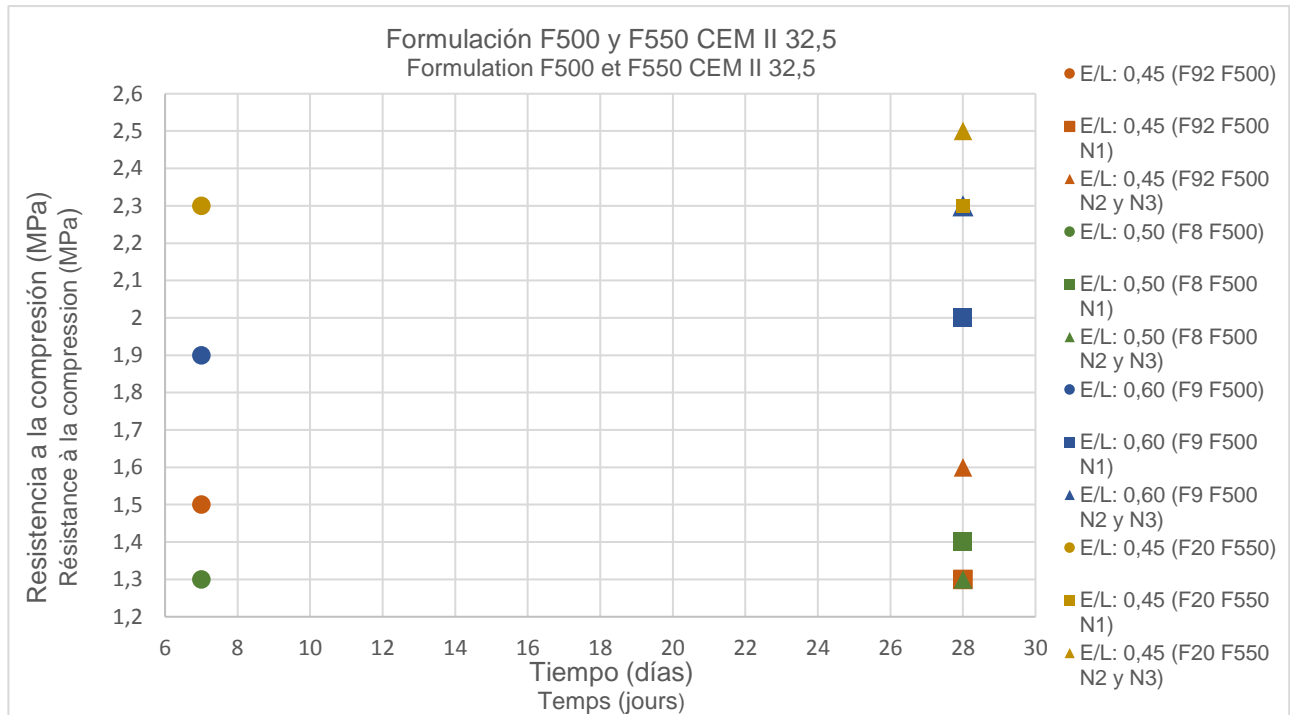
Source Élaboration propre.

Notas sobre la figura 53:

- Densidad inicial promedio  $\rho_0$  (kg/m³).
- Densidad antes del ensayo de compresión a 28 días  $\rho_{ae}$  (kg/m³), los cilindros permanecieron 96 horas a 50 C constantes antes del ensayo.
- Densidad final teórica  $\rho_{ft}$  (kg/m³), mediante la ecuación 8 del marco teórico.

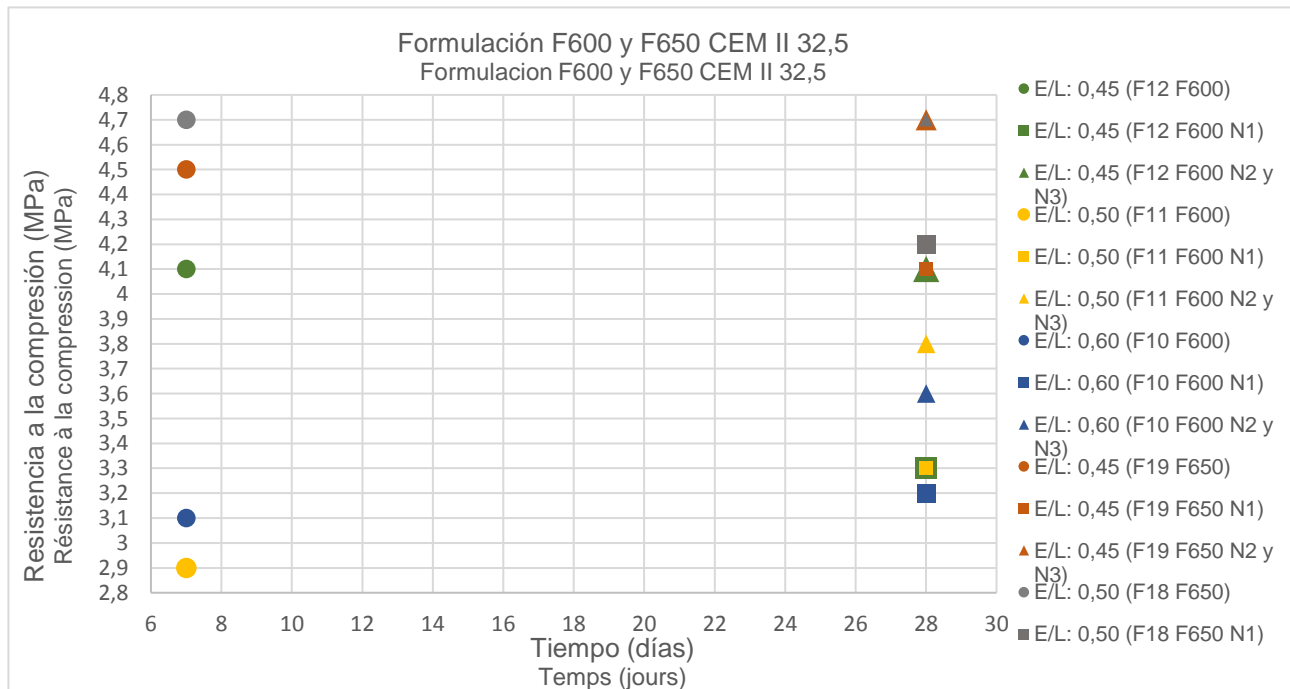
Notes sur la figure 53:

- Densité initiale moyenne  $\rho_0$  (kg/m³).
- Densité avant l'épreuve de compression à 28 jours  $\rho_{ae}$  (kg/m³), les cylindres sont restés constants 96 heures à 50 C avant l'épreuve.
- Densité finale théorique  $\rho_{ft}$  (kg/m³), en utilisant l'équation 8 du cadre théorique.



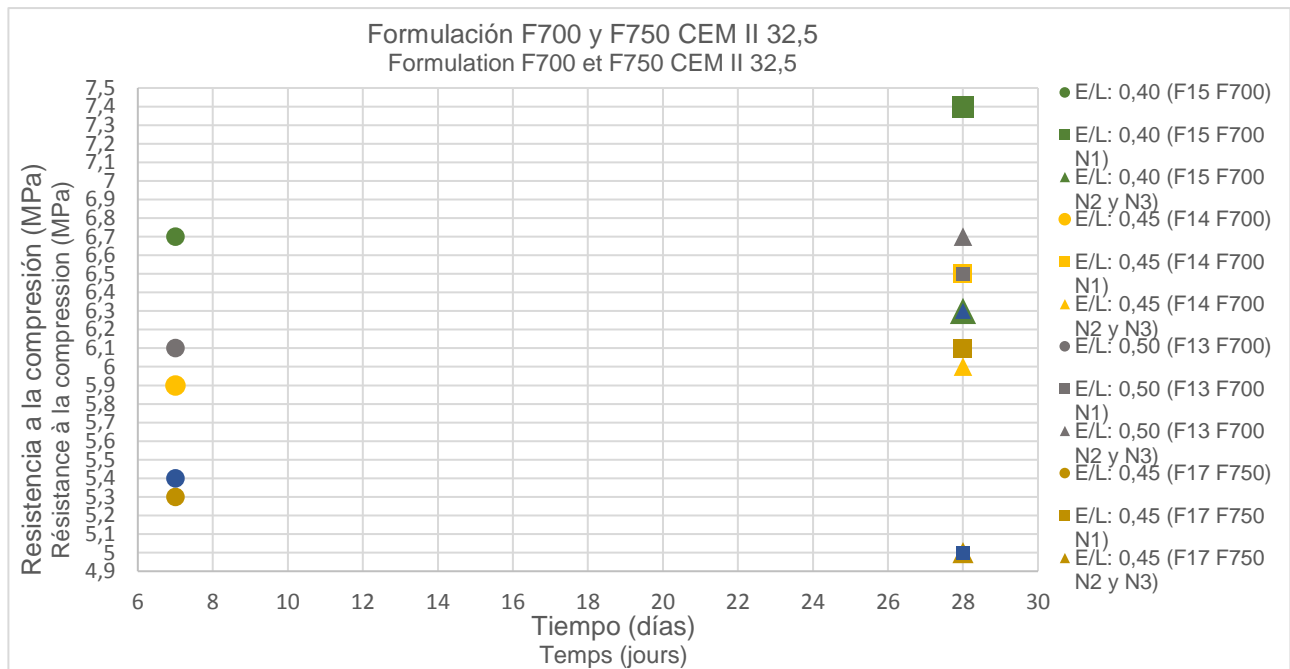
**Figura 54.** Resistencia a la compresión en cilindros versus tiempo según desmolde de las formulaciones F500 y F550 CEM II 32,5.

**Figure 54.** Résistance à la compression en cylindres en fonction du temps selon démoulage des formulations F500 et F550 CEM II 32,5.  
Fuente. Elaboración propia. Source Élaboration propre.



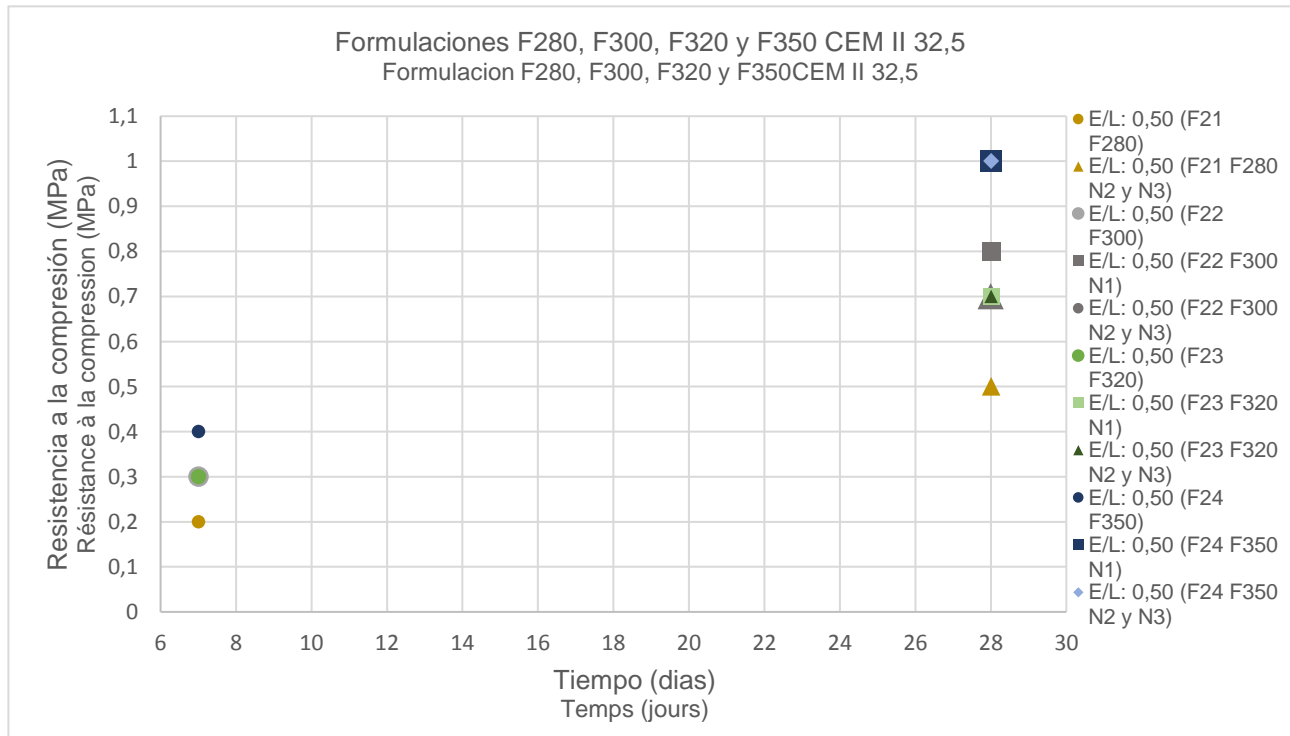
**Figura 55.** Resistencia a la compresión en cilindros versus tiempo según desmolde de las formulaciones F600 y F650 CEM II 32,5.

**Figure 55.** Résistance à la compression en cylindres en fonction du temps selon démoulage des formulations F600 et F650 CEM II 32,5.  
Fuente. Elaboración propia. Source Élaboration propre.



**Figura 56.** Resistencia a la compresión en cilindros versus tiempo según desmolde de las formulaciones F700 y F750 CEM II 32,5.

**Figure 56.** Résistance à la compression en cylindres en fonction du temps selon démoulage des formulations F700 et F750 CEM II 32,5.  
Fuente. Elaboración propia. Source Élaboration propre.



**Figura 57.** Resistencia a la compresión en cilindros versus tiempo según desmolde de las formulaciones F21 a la F24 CEM II 32,5.

**Figure 57.** Résistance à la compression en cylindres en fonction du temps selon démoulage des formulations F21 à F24 CEM II 32,5.  
Fuente. Elaboración propia. Source Élaboration propre.

De las figuras mostradas anteriormente, se debe destacar las siguientes notas:

Para las figuras 54, 55 y 56:

- Se presenta los resultados de la resistencia a la compresión en cilindros de 11/22 cm (diámetro/altura), obtenida a 7 días y 28 días para cada variación de relación agua/cemento.
- La resistencia a la compresión obtenida a 7 días, es el promedio de la resistencia de 3 cilindros ensayos a compresión en las mismas condiciones, los cuales fueron desmoldados el mismo día del ensayo, este valor en el grafico se representa en forma de punto.
- La resistencia a la compresión a los 28 días, para cada formulación, cuenta con dos valores, uno representado con cuadrado el cual es el cilindro de la formulación desmoldado con 24 horas de haberse realizado, se ingresó a los 21 días al horno con temperatura constante de 50 °C y ensayado a compresión a los 28 días de edad. El segundo punto de resistencia obtenido a los 28 días es el promedio de dos cilindros de la formulación, desmoldados a los 21 días e ingresados al horno por 7 días a temperatura constante de 50 °C y ensayados a compresión a los 28 días de edad.

Para la figura 57:

- La resistencia a la compresión en cilindros a los 7 días de edad, es el promedio de tres cilindros desmoldados el mismo día del ensayo y sin ser ingresados al horno.
- La resistencia a la compresión a los 28 días muestra dos valores para cada formulación debido a que uno (representado con el cuadrado) es el cilindro (N1) desmoldado con 24 horas de haberse realizado, no se ingresó al horno y se ensayó a los 28 días. El segundo punto, representado con un triángulo, es el promedio de dos cilindros (N2 y N3) desmoldados el mismo día del ensayo (28 días de edad), no ingresados al horno y ensayados a compresión.

Las variaciones anteriores se realizaron, con el fin de ver si estas tenían alguna afectación en densidad y/o resistencia en los cilindros de las formulaciones estudiadas y con esto poder analizar que es más conveniente para el desmoldare de los especímenes tipo bloques.

À partir des figures ci-dessus, les notes suivantes doivent être mises en évidence :

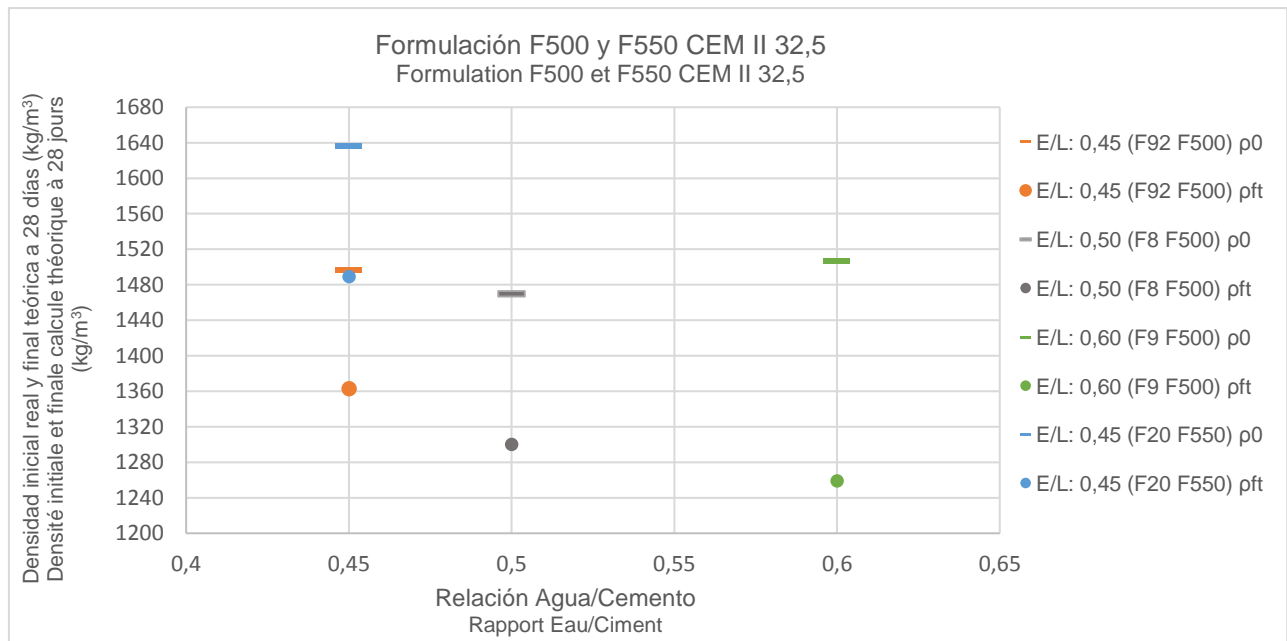
Pour les figures 54, 55 et 56:

- Les résultats de la résistance à la compression dans des cylindres de 11/22 cm (diamètre/hauteur), obtenus à 7 jours et 28 jours pour chaque variation du rapport eau/ciment sont présentés.
- La résistance à la compression obtenue à 7 jours, est la moyenne de la résistance des essais de compression 3 cylindres dans les mêmes conditions, qui ont été démoulés le même jour de l'essai, cette valeur dans le graphique est représentée par un point.
- La résistance à 28 jours, pour chaque formulation, a deux valeurs, l'une représentée par un carré qui est le cylindre de la formulation démoulée avec 24 heures de fabrication, a été entrée à 21 jours dans l'étuve à une température constante de 50 °C et testé sous compression à 28 jours. Le deuxième point de résistance obtenu à 28 jours est la moyenne de deux cylindres de la formulation, démoulés à 21 jours et placés au four pendant 7 jours à une température constante de 50 °C et testés pour la compression à 28 jours.

Pour la figure 57:

- La résistance à la compression des bouteilles à 7 jours, est la moyenne de trois bouteilles démoulées le même jour de l'essai et sans être introduites dans le four.
- La résistance à la compression à 28 jours montre deux valeurs pour chaque formulation car l'une (représentée par le carré) est le cylindre (N1) démoulé avec 24 heures de fabrication, non entré dans le four et testé à 28 jours Le deuxième point, représenté par un triangle, est la moyenne de deux cylindres (N2 et N3) démoulés le même jour de l'épreuve (28 jours), non entrés dans le four et testés pour la compression.

Les variations précédentes ont été faites, afin de voir si vous avez eu un impact sur la densité et/ou la résistance dans les cylindres des formulations étudiées et avec cela d'analyser qu'il est plus pratique pour le démoulage des échantillons de type bloc.

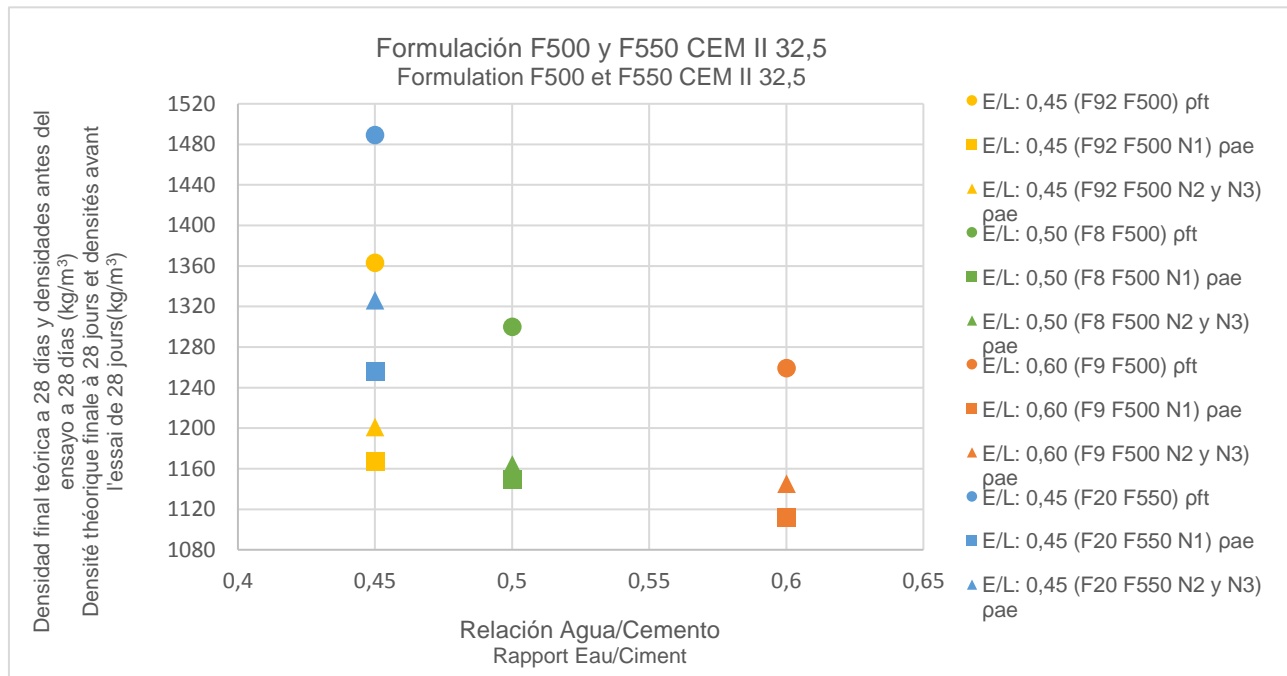


**Figura 58.** Densidad inicial y densidad final teórica (28 días) vs relación agua/ligante de los cilindros de formulación F500 y F550 CEM II 32,5.

**Figure 58.** Densité initiale et densité finale théorique (28 jours) vs rapport eau/liant des cylindres de formulation F500 et F550 CEM II 32,5.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

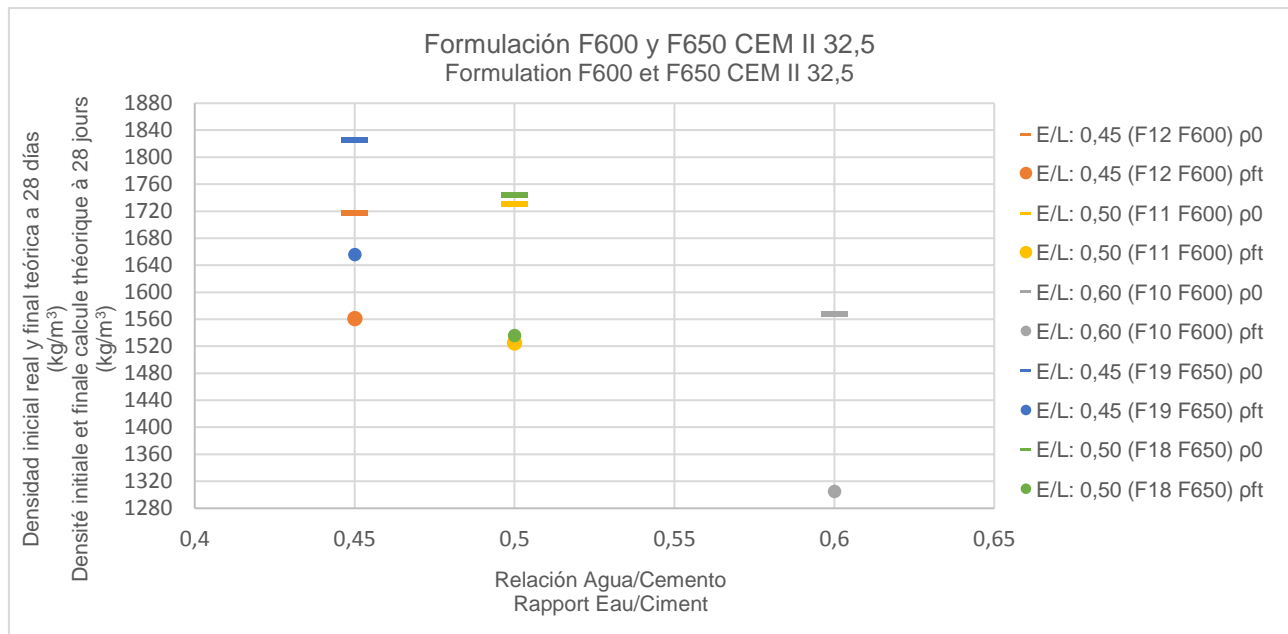


**Figura 59.** Variación de la densidad antes del ensayo de compresión a 28 días y densidad final teórica según relación agua/ligante de los cilindros de formulación F500 Y F550 CEM II 32,5.

**Figure 59.** Variation de la densité avant l'essai de compression de 28 jours et densité finale théorique en fonction du rapport eau/liant des cylindres de formulation F500 et F550 CEM II 32,5.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

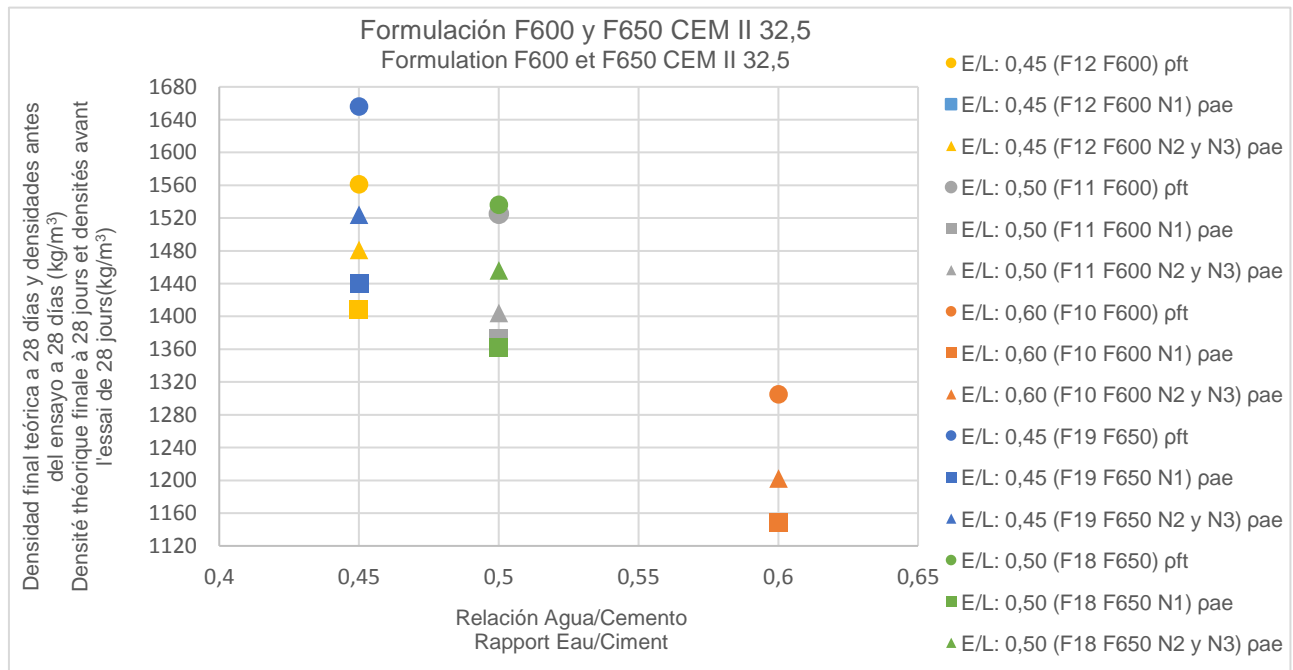


**Figura 60.** Densidad inicial y densidad final teórica (28 días) vs relación agua/ligante de los cilindros de formulación F600 y F650 CEM II 32,5.

**Figure 60.** Densité initiale et densité finale théorique (28 jours) vs rapport eau/liant des cylindres de formulation F600 et F650 CEM II 32,5.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



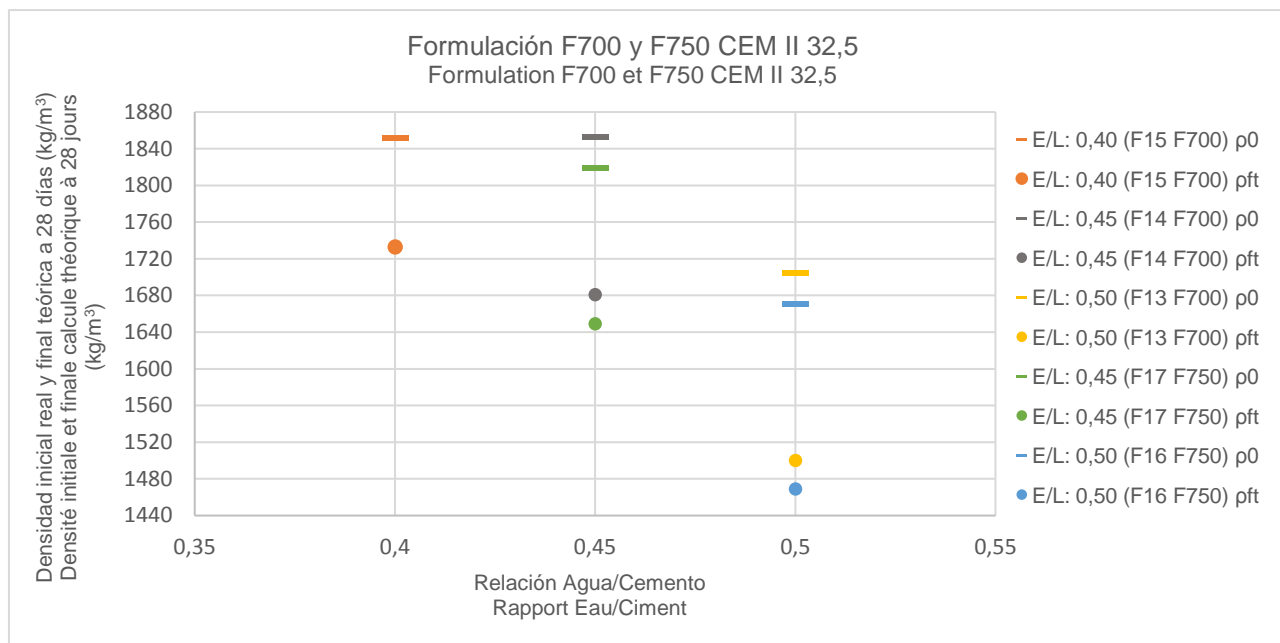
**Figura 61.** Variación de la densidad antes del ensayo de compresión a 28 días y densidad final teórica según relación agua/ligante de los cilindros de formulación F600 Y F650 CEM II 32,5.

**Figure 61.** Variation de la densité avant l'essai de compression de 28 jours et densité finale théorique en fonction du rapport eau/liant des cylindres de formulation F600 et F650 CEM II 32,5.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



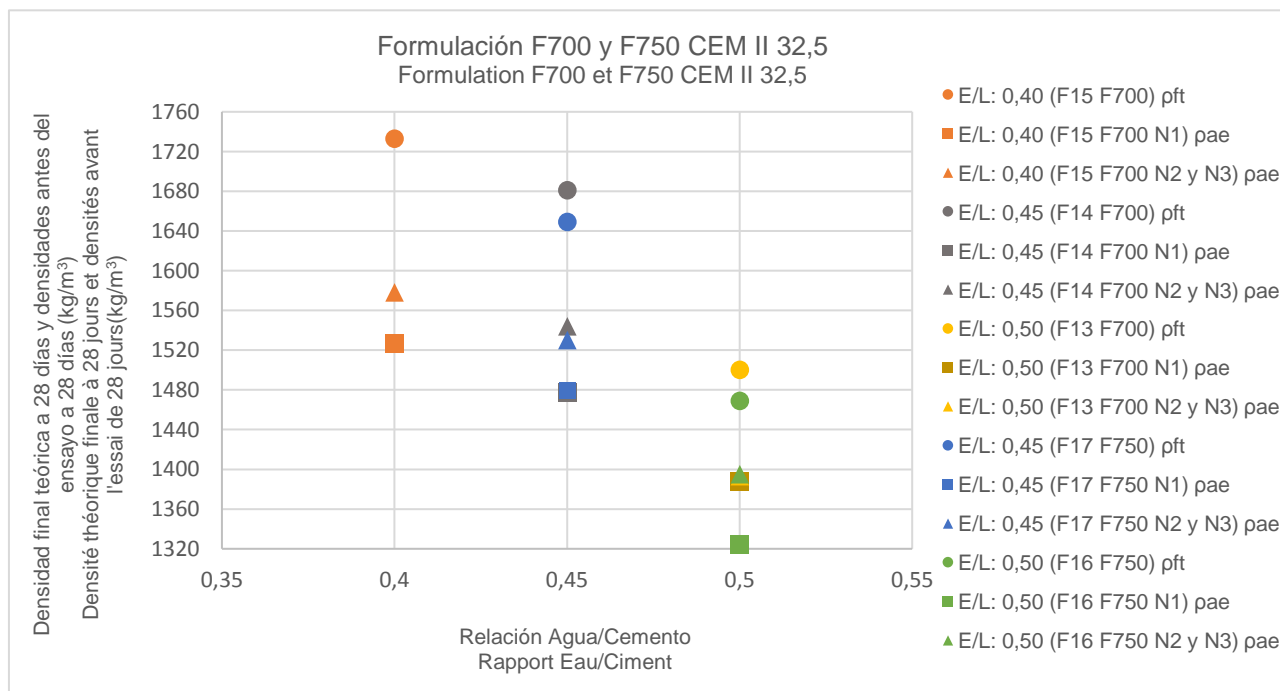


**Figura 62.** Densidad inicial y densidad final teórica (28 días) vs relación agua/ligante de los cilindros de formulación F700 y F750 CEM II 32,5.

**Figure 62.** Densité initiale et densité finale théorique (28 jours) vs rapport eau/liant des cylindres de formulation F700 et F750 CEM II 32,5.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

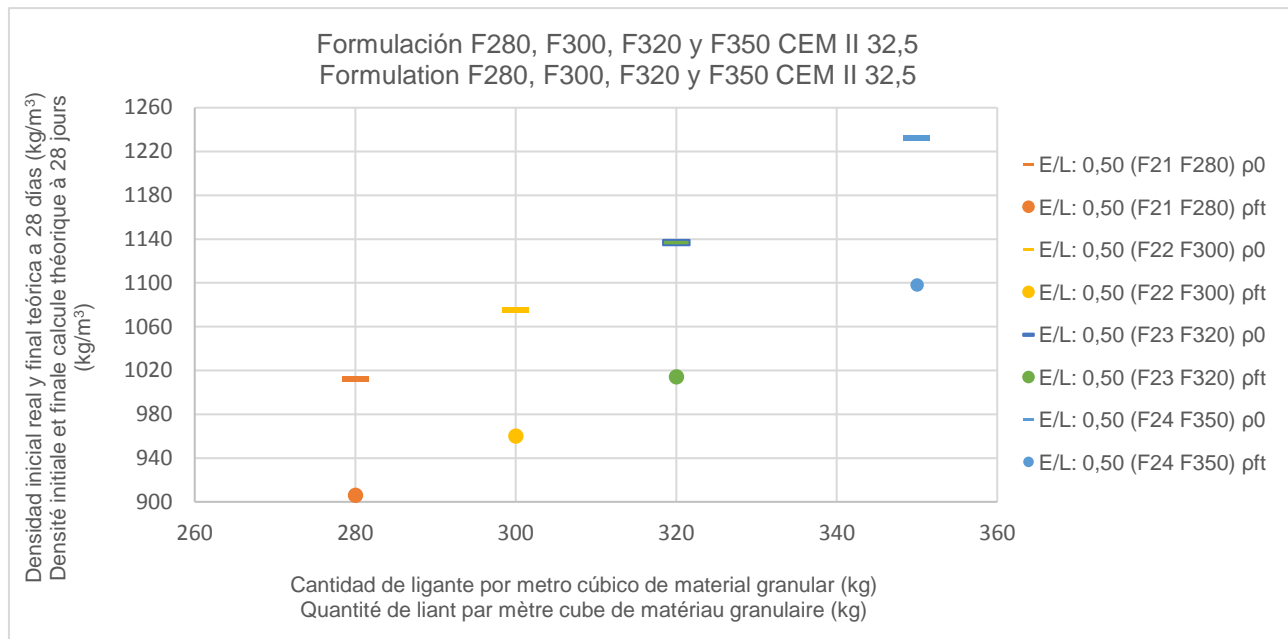


**Figura 63.** Variación de la densidad antes del ensayo de compresión a 28 días y densidad final teórica según relación agua/ligante de los cilindros de formulación F700 y F750 CEM II 32,5.

**Figure 63.** Variation de la densité avant l'essai de compression de 28 jours et densité finale théorique en fonction du rapport eau/liant des cylindres de formulation F700 et F750 CEM II 32,5.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

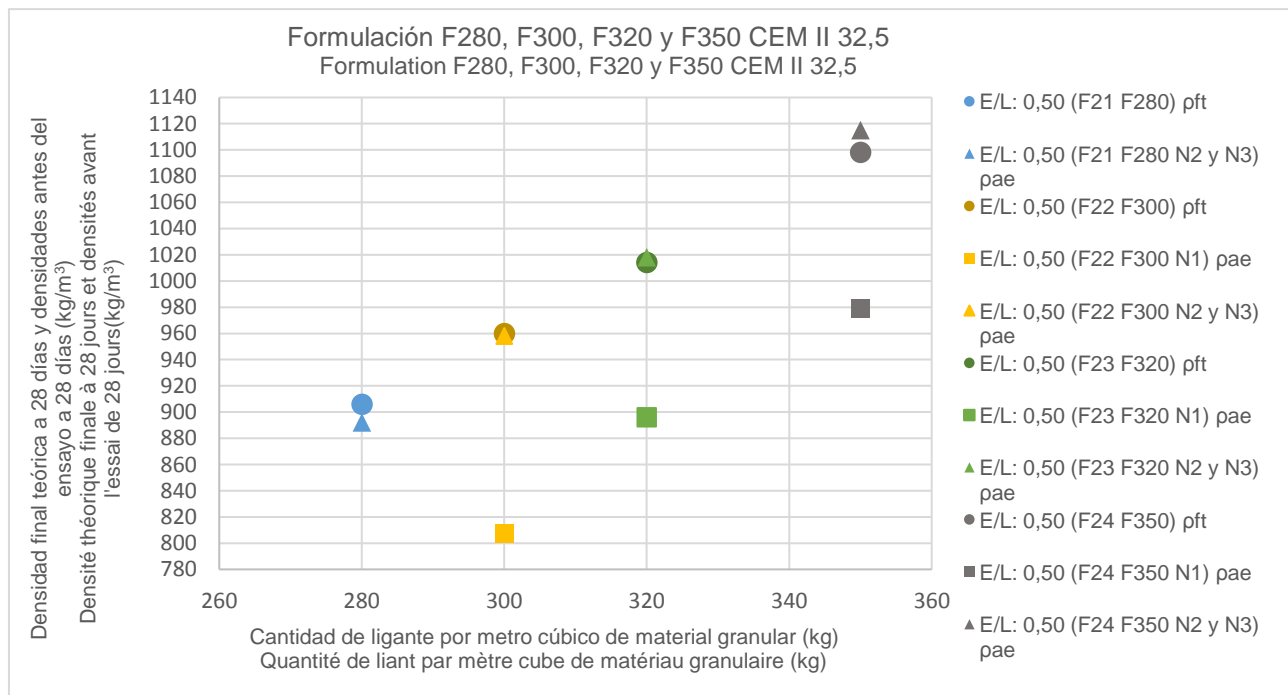


**Figura 64.** Densidad inicial y densidad final teórica (28 días) vs relación agua/ligante de los cilindros de las formulaciones F280 a F350 CEM II 32,5.

**Figure 64.** Densité initiale et densité finale théorique (28 jours) vs rapport eau/liant des cylindres des formulations F280 à F350 CEM II 32,5.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 65.** Variación de la densidad antes del ensayo de compresión a 28 días y densidad final teórica según relación agua/ligante de los cilindros de las formulaciones F280 a F350 CEM II 32,5.

**Figure 65.** Variation de la densité avant l'essai de compression de 28 jours et densité finale théorique en fonction du rapport eau/liant des cylindres des formulations F280 à F350 CEM II 32,5.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

Notas para las figuras de la 58 a la 65:

- Tamaño de los cilindros 11 cm de diámetro por 22 cm de altura.
  - El ligante utilizado en la mezcla es cemento tipo II portland (Optimat VICAT).
- Notas para las figuras de la 58 a la 63:
- $\rho_0$ : densidad inicial promedio de tres cilindros de la formulación que comparten las mismas condiciones de realización.
  - $\rho_{ft}$ : densidad final teórica de la formulación calculada con la ecuación 8 del marco teórico.
  - $\rho_{ae}$ : densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días, las representadas con un cuadrado son para los cilindros desmoldados con 24 horas de haberse realizado e ingresados al horno 7 días antes del ensayo a 50 °C constantes, los representados con un triángulo son cilindros desmoldados a los 21 días de realizados e ingresados al horno 7 días a una temperatura constante de 50 °C.

Notas para las figuras 64 y 65:

- $\rho_0$ : densidad inicial promedio de tres cilindros de la formulación que comparten las mismas condiciones de realización.
- $\rho_{ft}$ : densidad final teórica de la formulación calculada con la ecuación 8 del marco teórico.
- $\rho_{ae}$ : densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días, las representadas con un cuadrado son para los cilindros desmoldados con 24 horas de haberse realizado estos no se ingresaron al horno, los representados con un triángulo son cilindros desmoldados a los 28 días de realizados no se ingresaron al horno y se ensayaron el mismo día de haberse desmoldado.
- La formulación F280 CEM II 32,5 E/L: 0,5 no presenta información del cilindro desmoldado con 24 horas de haberse realizado debido a que, en el desmolde, este se quebró a la mitad.
- Todas las formulaciones presentadas en la figura 64 y 65 tienen una relación agua/ligante de 0,5.

A continuación, se presenta en forma de gráfica la cantidad de agua calculada que se ha absorbido por el ligante tipo cemento II, utilizado

Notes pour les chiffres de 58 à 65:

- Cylindre de 11 cm de diamètre sur 22 cm de hauteur.
- Le liant utilisé dans le mélange est du ciment de type II portland (Optimat VICAT).

Notes pour les chiffres de 58 à 63:

- $\rho_0$ : densité initiale moyenne de trois cylindres de la formulation qui partagent les mêmes conditions de performance.
- $\rho_{ft}$ : densité théorique finale de la formulation calculée avec l'équation 8 du cadre théorique.
- $\rho_{ae}$ : densité avant l'épreuve de résistance à la compression à 28 jours, celles représentées par un carré sont pour les cylindres démoulés avec 24 heures de fabrication et entrés dans l'étuve 7 jours avant l'épreuve à 50 °C constant, ceux représentés avec un triangle ce sont des cylindres démoulés après 21 jours de fabrication et placés au four 7 jours à une température constante de 50 °C

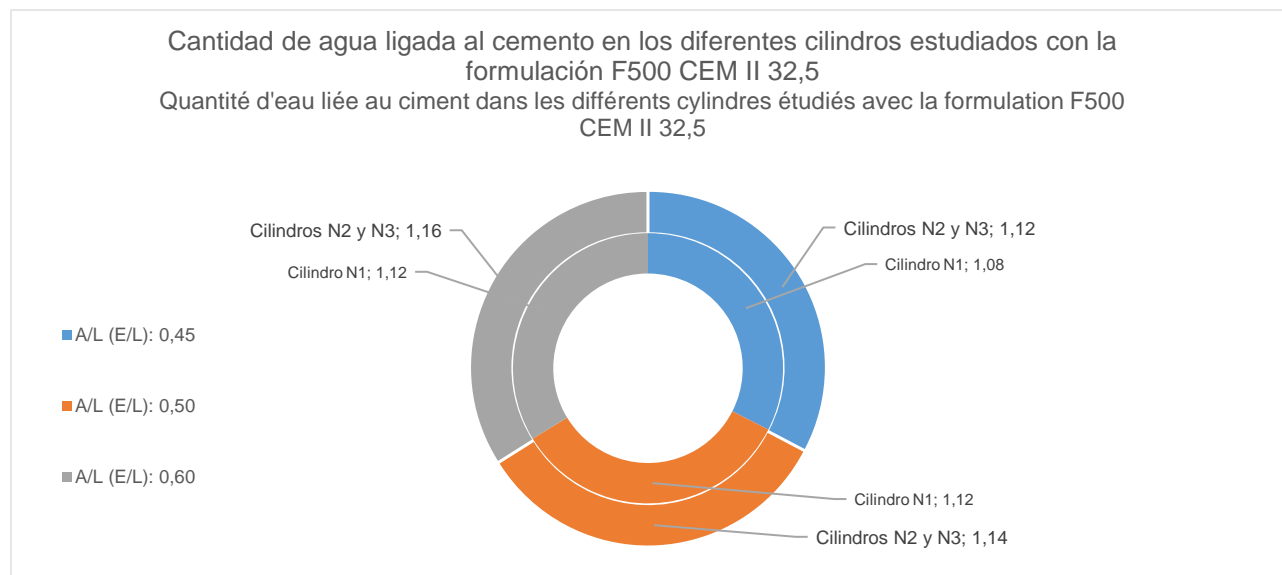
Notes pour les figures 64 et 65:

- $\rho_0$ : densité initiale moyenne de trois cylindres de la formulation qui partagent les mêmes conditions de performance.
- $\rho_{ft}$ : densité théorique finale de la formulation calculée avec l'équation 8 du cadre théorique.
- $\rho_{ae}$ : densité avant l'essai de résistance à la compression à 28 jours, celles représentées par un carré sont pour les cylindres démoulés avec 24 heures de fabrication celles-ci n'ont pas été introduites dans le four, celles représentées par un triangle sont des cylindres démoulés à 28 jours après leur fabrication, ils n'ont pas été placés dans le four et testés le même jour qu'ils avaient été démoulés.
- La formulation F280 CEM II 32,5 E/L: 0,5 ne présente pas d'informations sur le cylindre démoulé dans les 24 heures suivant sa réalisation car la démolition s'est cassée en deux.
- Toutes les formulations présentées aux figures 64 et 65 ont un rapport eau/liant de 0,5.

Ensuite, la quantité d'eau qui a été absorbée par le liant de type ciment II, utilisée dans les formulations sous forme de graphique est

en las formulaciones de bio-concreto estudiadas en este proyecto. Utilizando la ecuación 8, presentada en el marco teórico, se despeja el valor de “x” el cual representa la masa del cemento más la masa de agua ligada a este por el proceso de mezclado y curado, en donde teóricamente por ficha técnica del cemento utilizado se dice que ese valor debe ser 1,30 (el 1 representa la totalidad de masa de cemento agregada en la mezcla y el 0,30 la masa de agua ligada a este, de manera teórica). Por ende, si se utiliza los valores reales de la densidad obtenida antes del ensayo de resistencia a compresión a 28 días se obtiene el valor del agua ligada al cemento de manera práctica y con diferentes procesos de desmolde y curado como anteriormente se ha ido presentado, por lo que se presenta los valores en gráfica para cada formulación a continuación.

présentée. En utilisant l'équation 8, présentée dans le cadre théorique, la valeur de «x» est déterminée, ce qui représente la masse du ciment plus la masse d'eau qui lui est liée par le processus de mélange et de durcissement, où théoriquement par la fiche technique du ciment utilisée, on dit que cette valeur devrait être de 1,30 (1 représente la masse totale de ciment ajoutée dans le mélange et 0,30 la masse d'eau qui lui est liée, théoriquement). Par conséquent, si les valeurs réelles de la densité obtenues avant l'essai de résistance à la compression de 28 jours sont utilisées, la valeur de l'eau liée au ciment est obtenue de manière pratique et avec différents processus de démoulage et de durcissement comme présenté précédemment, Les valeurs sont donc présentées dans le graphique pour chaque formulation ci-dessous.

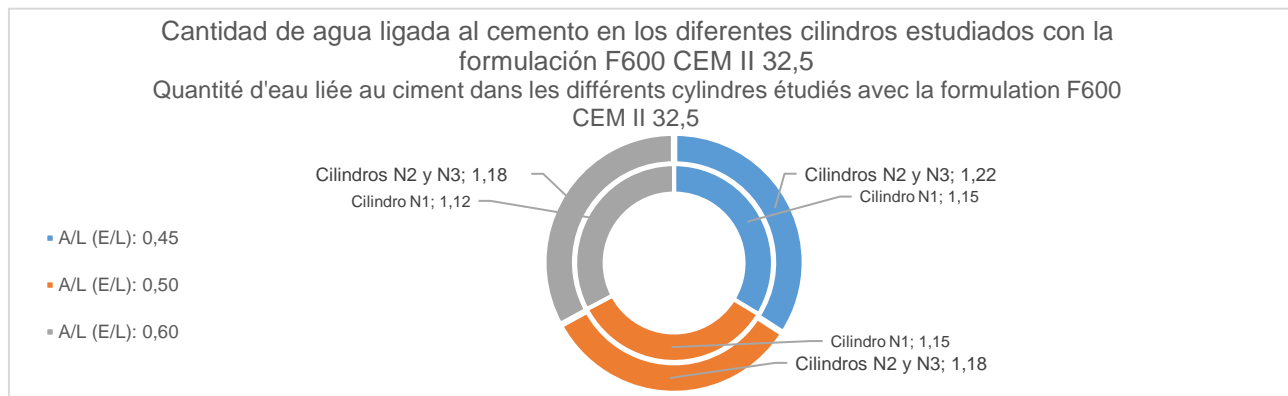


**Figura 66.** Cantidad de agua absorbida por el ligante en los diferentes cilindros estudiados con diferencias en tiempo de desmolde y diferencia de relación agua/ligante de la formulación F500 CEM II 32,5.

**Figure 66.** Quantité d'eau absorbée par le liant dans les différents cylindres étudiés avec différences de temps de démoulage et différence de rapport eau/liant de la formulation F500 CEM II 32,5.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

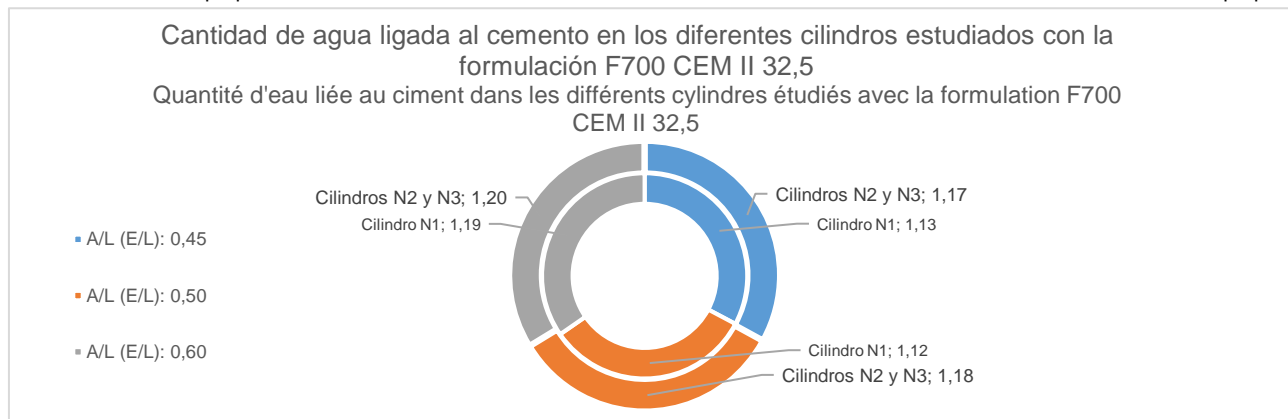


**Figura 67.** Cantidad de agua absorbida por el ligante en los diferentes cilindros estudiados con diferencias en tiempo de desmolde y diferencia de relación agua/ligante de la formulación F600 CEM II 32,5.

**Figure 67.** Quantité d'eau absorbée par le liant dans les différents cylindres étudiés avec différences de temps de démoulage et différence de rapport eau/liant de la formulation F600 CEM II 32,5.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

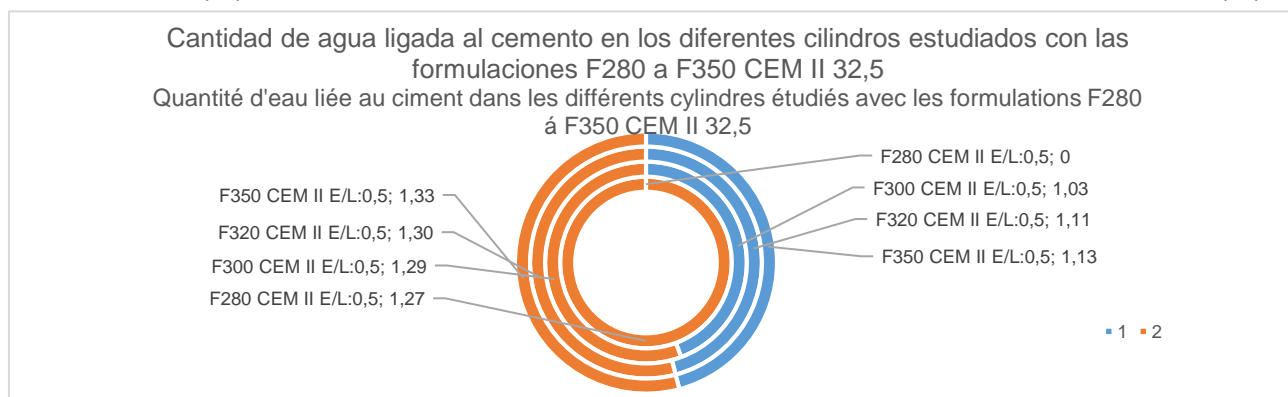


**Figura 68.** Cantidad de agua absorbida por el ligante en los diferentes cilindros estudiados con diferencias en tiempo de desmolde y diferencia de relación agua/ligante de la formulación F700 CEM II 32,5.

**Figure 68.** Quantité d'eau absorbée par le liant dans les différents cylindres étudiés avec différences de temps de démoulage et différence de rapport eau/liant de la formulation F700 CEM II 32,5.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 69.** Cantidad de agua absorbida por el ligante en los diferentes cilindros estudiados con diferencias en tiempo de desmolde y diferencia de relación agua/ligante de la formulación F700 CEM II 32,5.

**Figure 69.** Quantité d'eau absorbée par le liant dans les différents cylindres étudiés avec différences de temps de démoulage et différence de rapport eau/liant de la formulation F700 CEM II 32,5.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

En las siguientes figuras, se muestran las curvas de resistencia a la compresión contra deformaciones de los cilindros ensayados en la segunda fase de estudio de formulaciones.

Anteriormente en las tablas 20 y 18, se mostró la información obtenida del ensayo de compresión para las formulaciones F8 hasta la F24, se puede notar que hay diferencia entre los resultados de los cilindros desmoldados con un día de edad contra los desmoldados con 21 días, así mismos que los resultados de las formulaciones F21 hasta F24 muestran menores diferencias en los resultados, por lo que también se refuerza estos resultados con gráficas para evidenciar que el comportamiento varió entre los diferentes tiempos de desmolde y así mismo hay más uniformidad en los resultados de los cilindros que no se ingresaron al horno como los de la formulación F21 hasta F24, así como todos los cilindros ensayos a los 7 días de edad de las formulaciones que van desde la F8 hasta la F20.

Una nota importante, es que las resistencias mostradas en las siguientes figuras son las exactas obtenidas del ensayo de resistencia a la compresión, pero las deformaciones son estimadas ya que se sufrió una pérdida de la información exacta de las alturas de estos cilindros ensayados. Al estimar estas alturas en 200 mm y volver a calcular la nueva deformación máxima obtenida se obtuvo un variación menor al 6 % por lo que se decide que esta variación para fines ilustrativos de los resultados no afecta en gran manera.

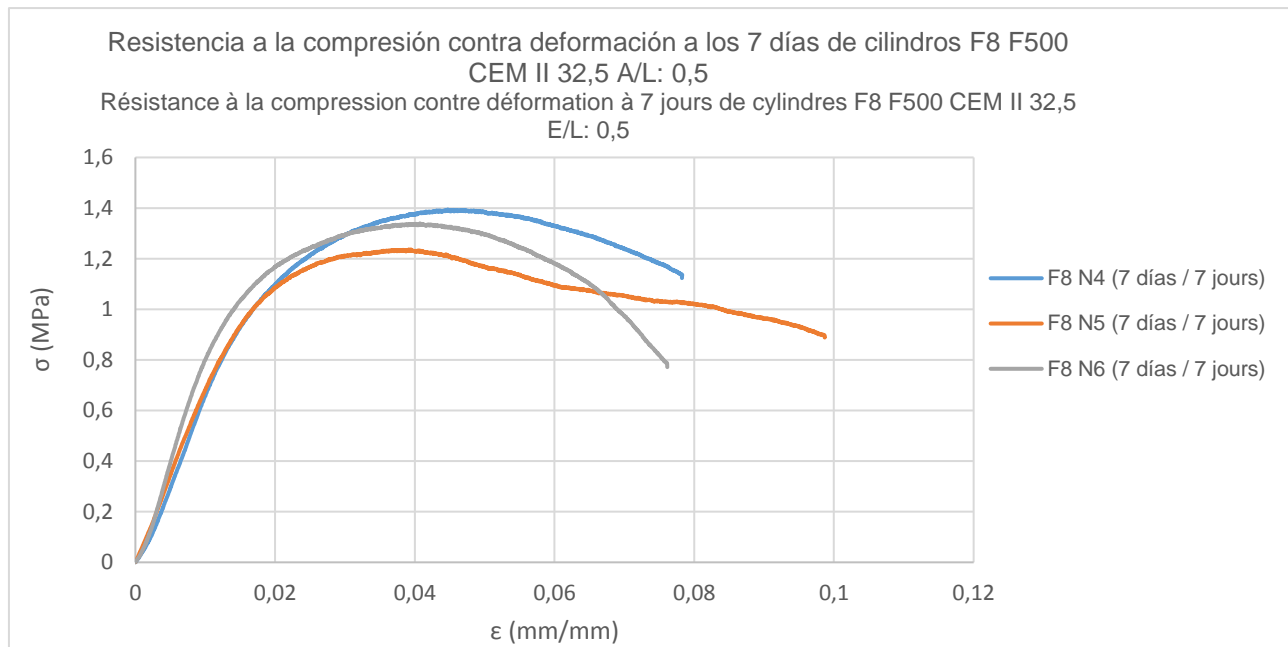
Los resultados mostrados en las tablas 18, 19 y 20 fueron calculados con la información exacta de alturas, pesos, deformaciones y resistencias a la compresión obtenidas.

Dans les figures suivantes, les courbes de contrainte-déformation des cylindres testés en compression dans la deuxième phase d'étude des formulations sont représentées.

Plus tôt dans les tableaux 20 et 18, les informations obtenues à partir du test de compression pour les formulations F8 à F24 ont été montrées, on peut noter qu'il existe une différence entre les résultats des cylindres non moulés avec un jour d'âge par rapport au démoulé avec 21 jours, De même, les résultats des formulations F21 à F24 montrent moins de différences dans les résultats, donc ces résultats sont également renforcés avec des graphiques pour montrer que le comportement variait entre les différents temps de démoulage et il y a aussi plus d'uniformité dans les résultats de cylindres qui n'ont pas été introduits dans le four tels que ceux des formulations F21 à F24, ainsi que tous les cylindres testés à l'âge de 7 jours pour des formulations allant de F8 à F20.

Une note importante est que les résistances montrées dans les figures suivantes sont celles obtenues exactement à partir du test de résistance à la compression, mais les déformations sont estimées car une perte de l'information exacte des hauteurs de ces cylindres testés a été subie. Lors de l'estimation de ces hauteurs en 200 mm et du recalculé de la nouvelle déformation maximale obtenue, une variation inférieure à 6 % a été obtenue, il est donc décidé que cette variation à titre illustratif des résultats n'affecte pas beaucoup.

Les résultats présentés dans les tableaux 18, 19 et 20 ont été calculés avec les informations exactes des hauteurs, poids, déformations et résistances à la compression obtenues.

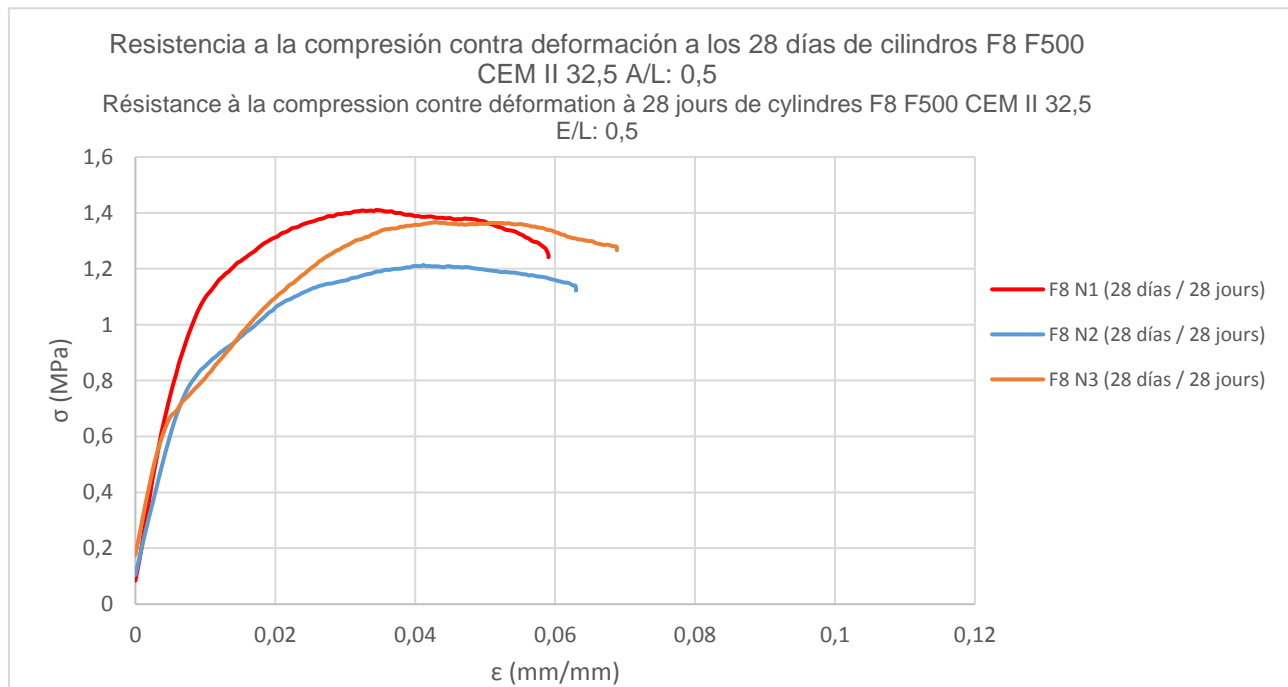


**Figura 70.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F8 F500 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 70.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F8 F500 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

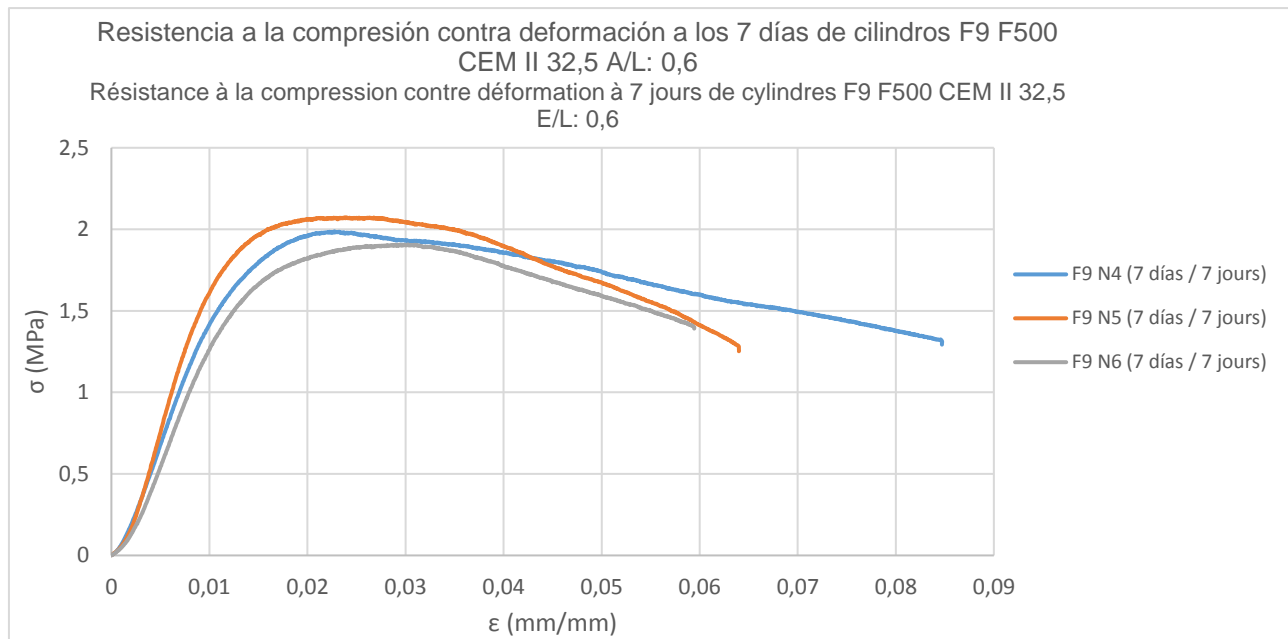


**Figura 71.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F8 F500 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 71.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F8 F500 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

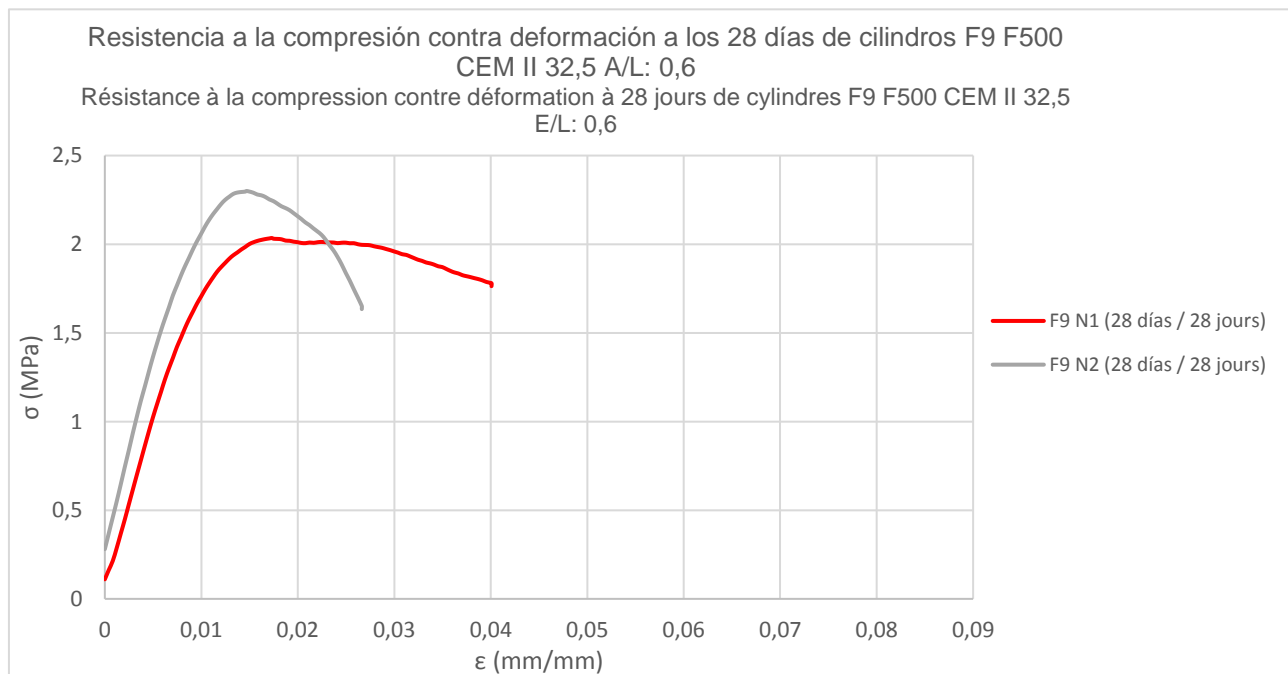


**Figura 72.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F9 F500 CEM II 32,5 A/L: 0,60.

**Figure 72.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F9 F500 CEM II 32,5 E/L: 0,60.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



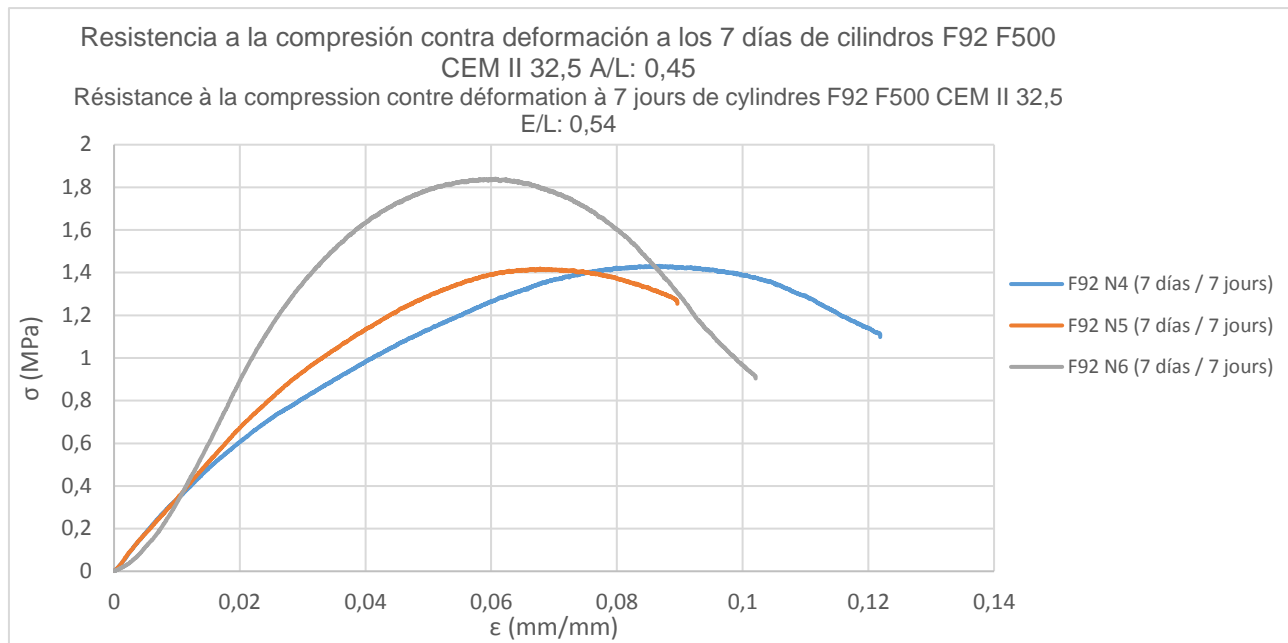
**Figura 73.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F9 F500 CEM II 32,5 A/L: 0,60.

**Figure 73.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F9 F500 CEM II 32,5 E/L: 0,60.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



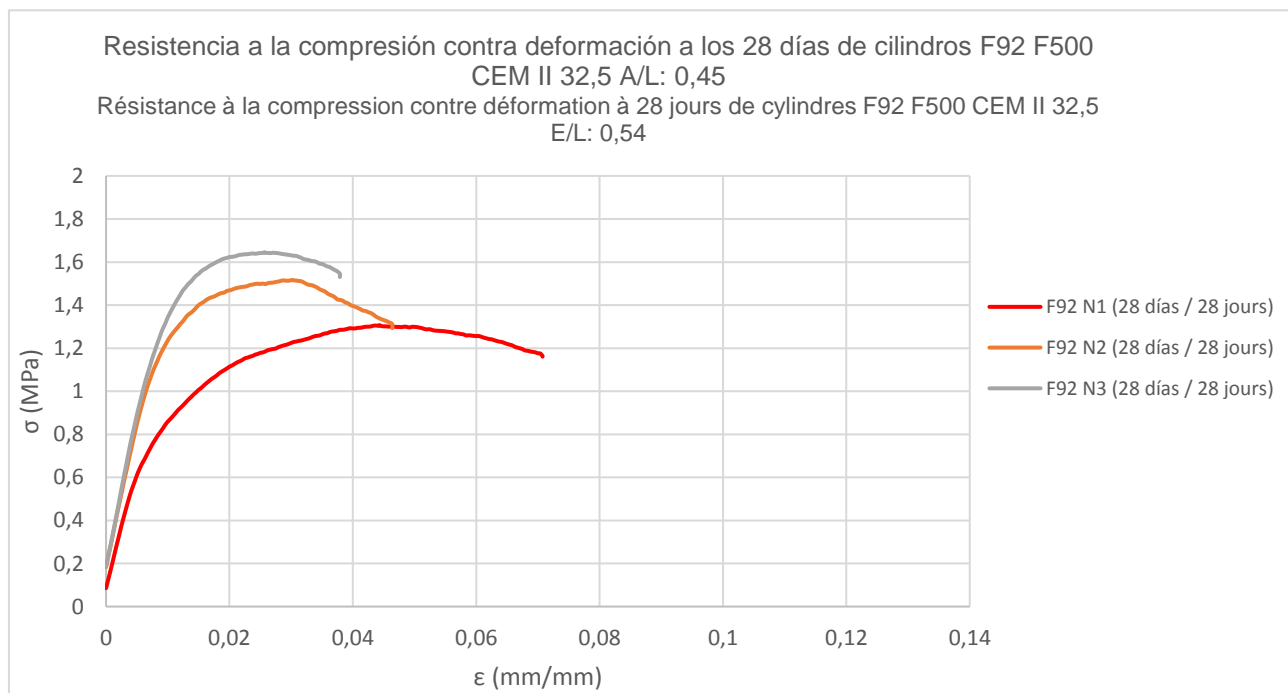


**Figura 74.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F92 F500 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

**Figure 74.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F92 F500 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

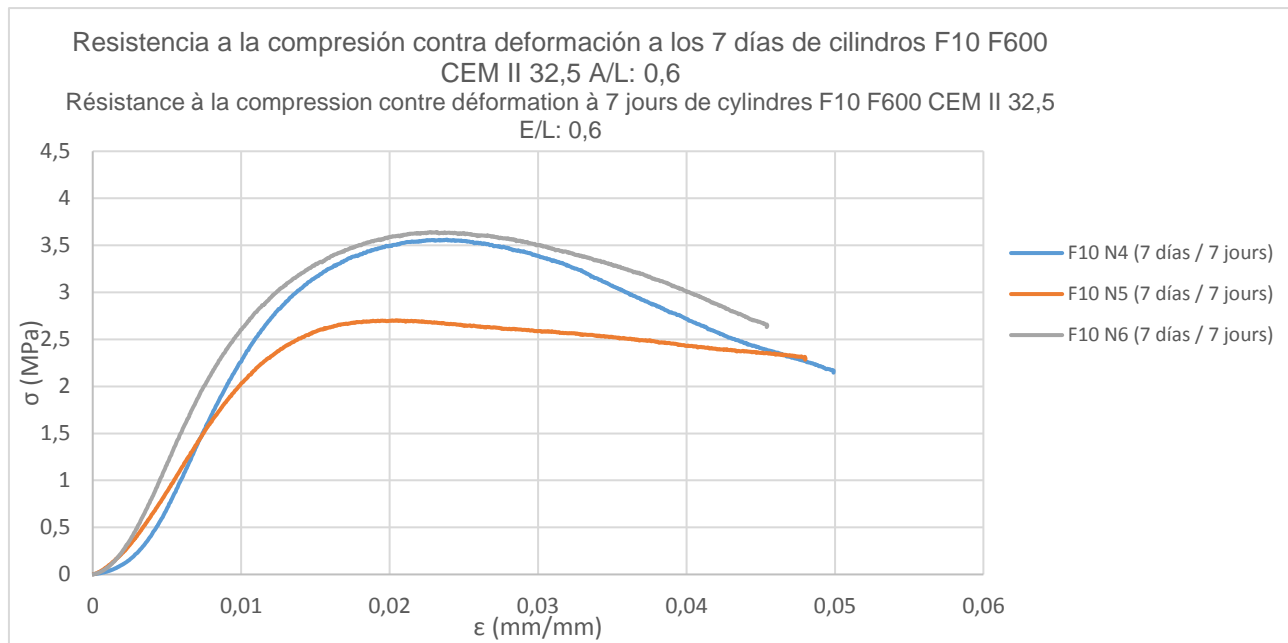


**Figura 75.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F92 F500 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

**Figure 75.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F92 F500 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

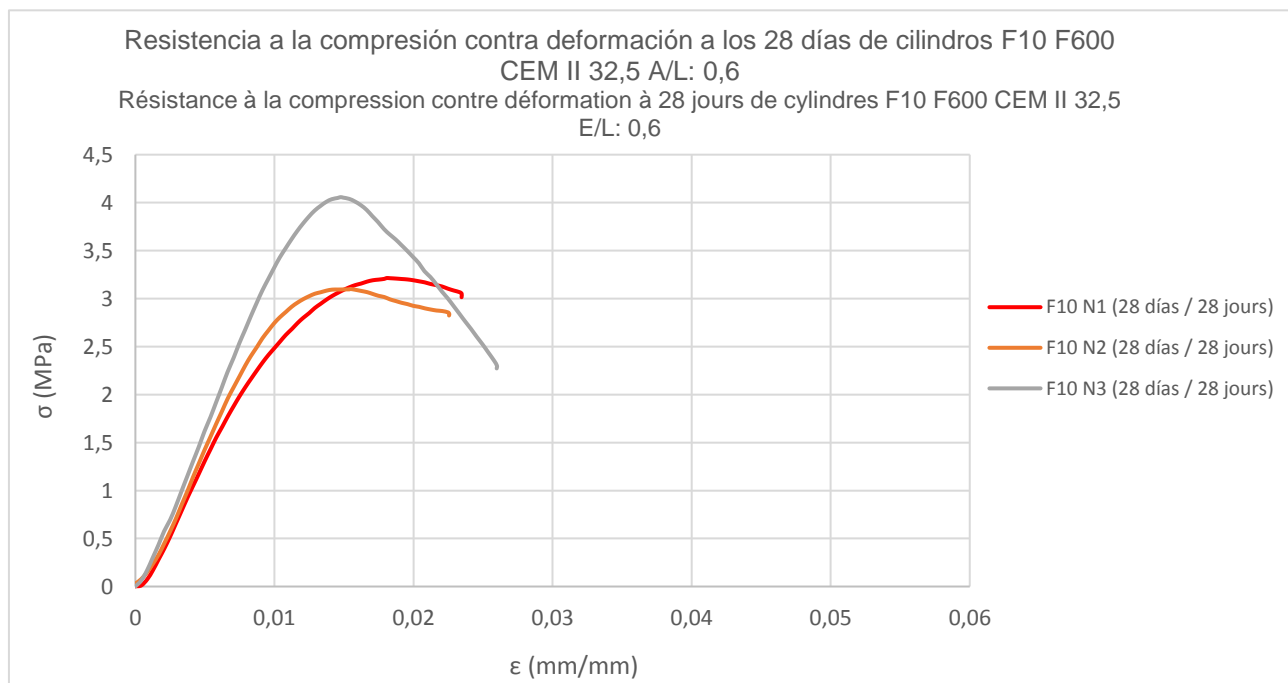


**Figura 76.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F10 F600 CEM II 32,5 A/L: 0,60.

**Figure 76.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F10 F600 CEM II 32,5 E/L: 0,60.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

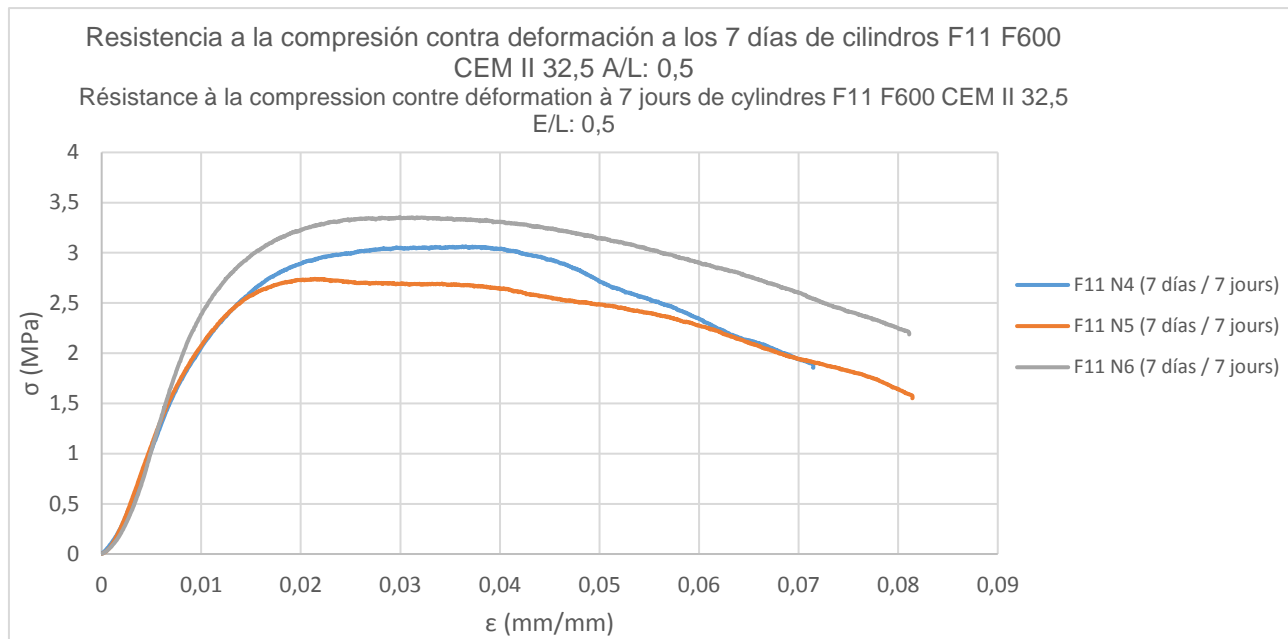


**Figura 77.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F10 F600 CEM II 32,5 A/L: 0,60.

**Figure 77.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F10 F600 CEM II 32,5 E/L: 0,60.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

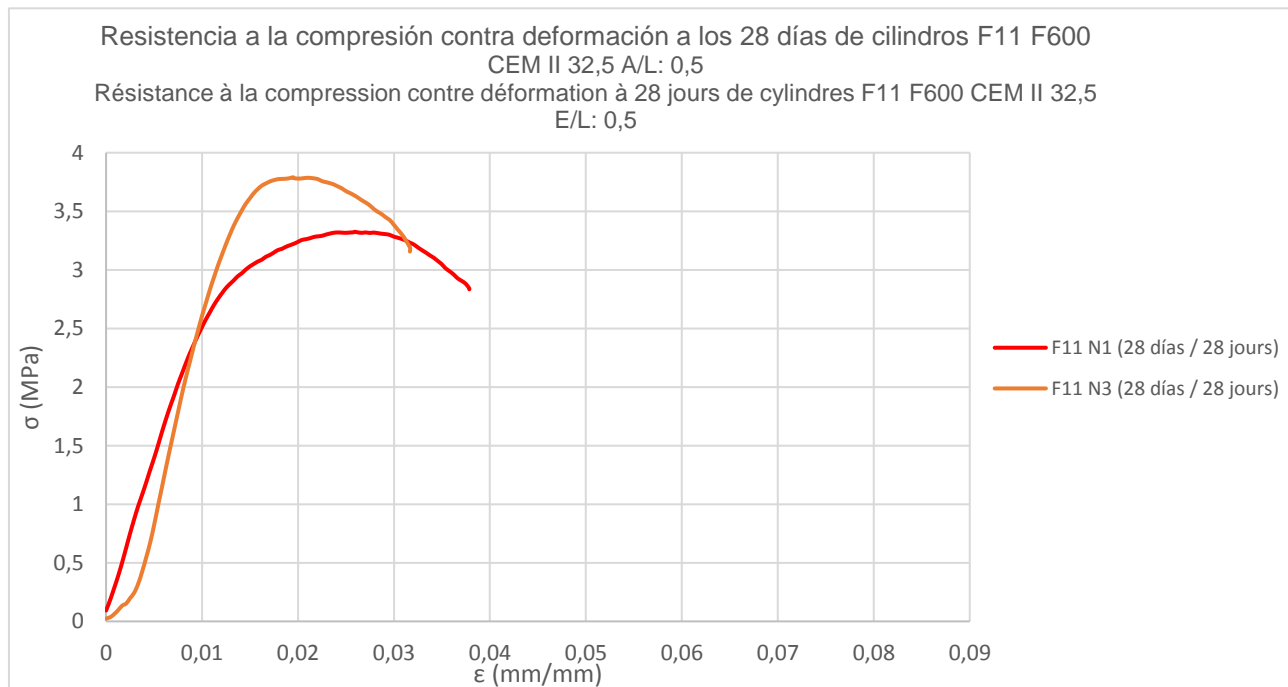


**Figura 78.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F11 F600 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 78.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation   7 jours dans des cylindres de la formulation F11 F600 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source  laboration propre.

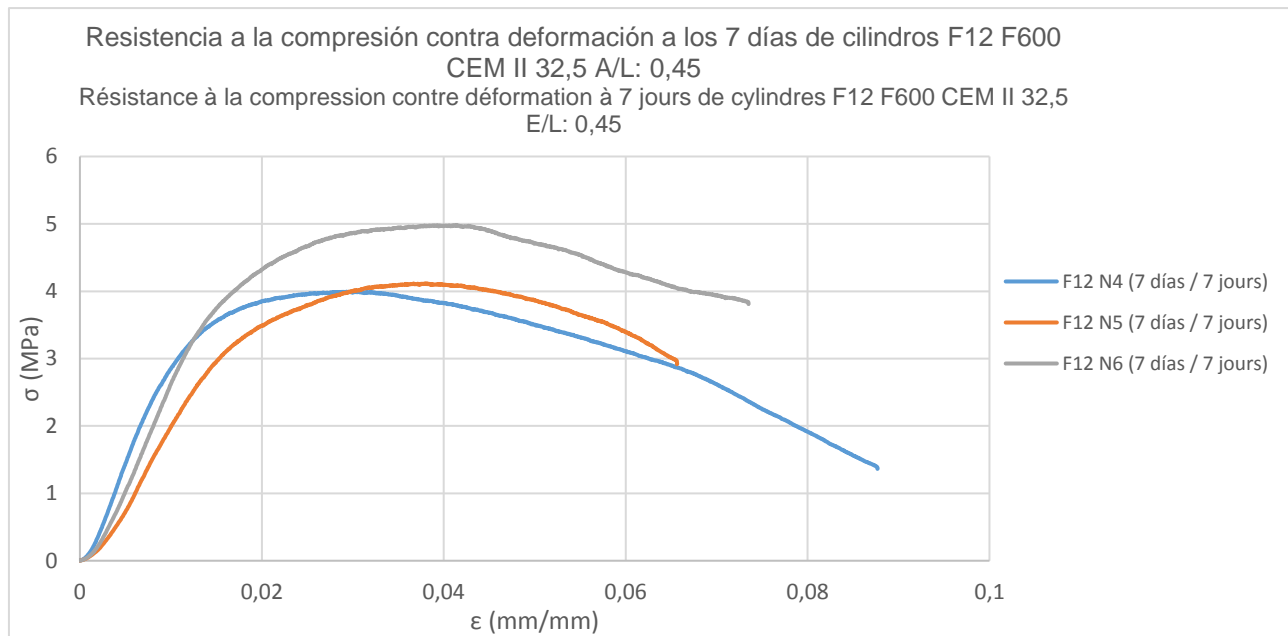


**Figura 79.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F11 F600 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 79.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation   28 jours dans des cylindres de la formulation F11 F600 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source élaboration propre.

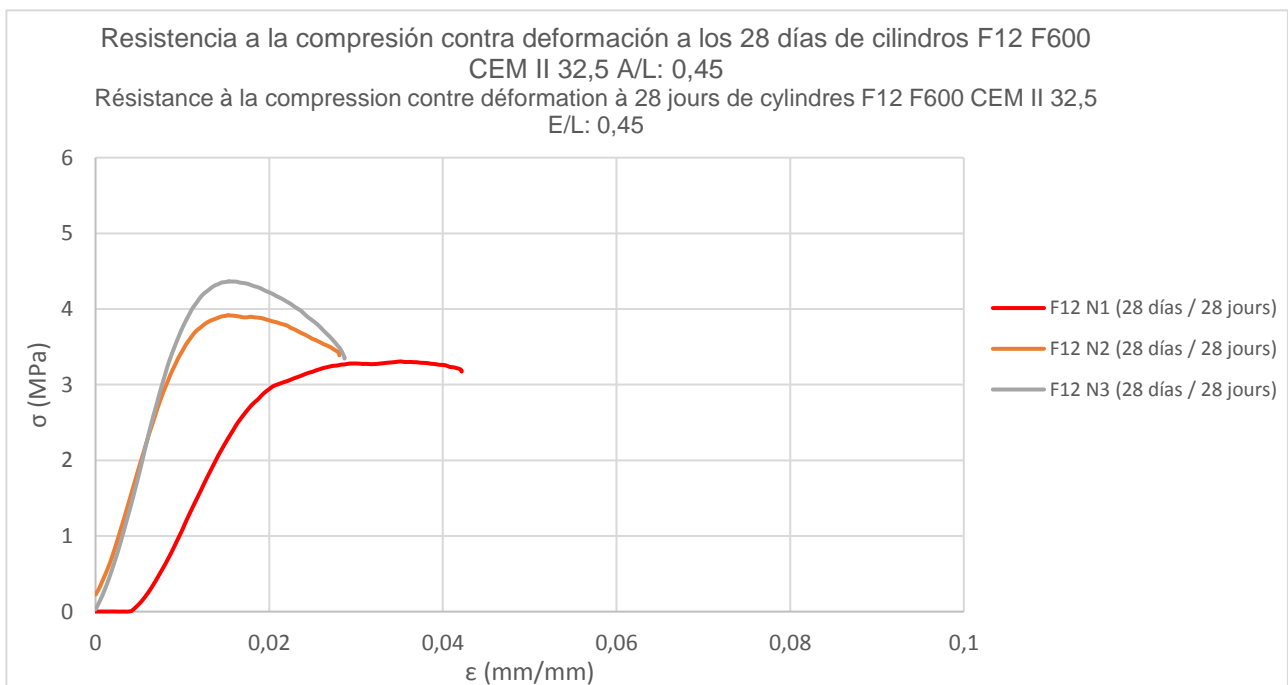


**Figura 80.** Curva de resistencia a la compres n contra deformación del ensayo de resistencia a la compres n a los 7 días en cilindros de la formulación F12 F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

**Figure 80.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation   7 jours dans des cylindres de la formulation F12 F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source  laboration propre.

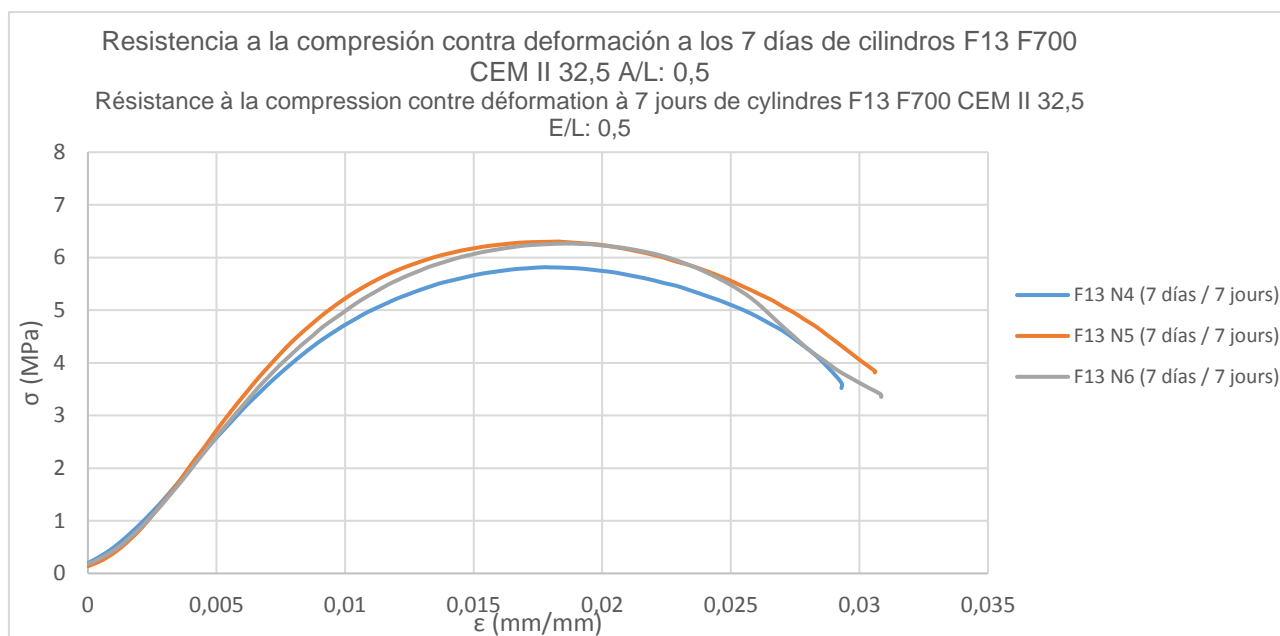


**Figura 81.** Curva de resistencia a la compres n contra deformación del ensayo de resistencia a la compres n a los 28 días en cilindros de la formulación F12 F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45

**Figure 81.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F12 F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source élaboration propre.

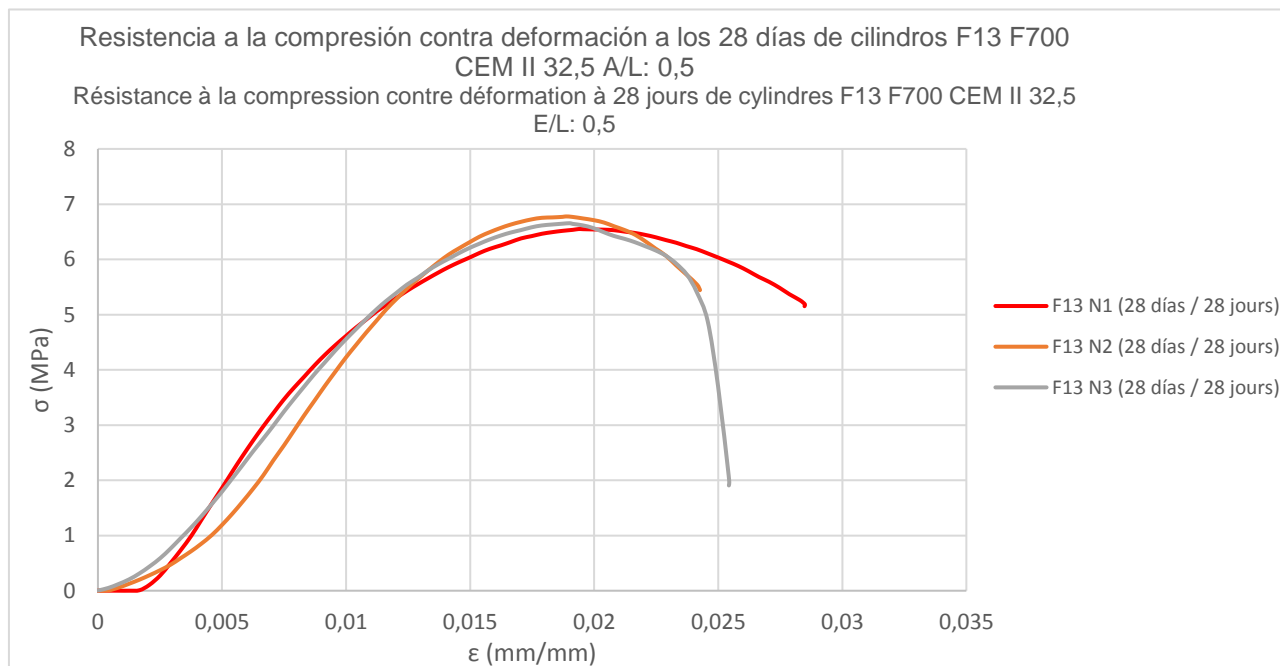


**Figura 82.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F13 F700 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 82.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F13 F700 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

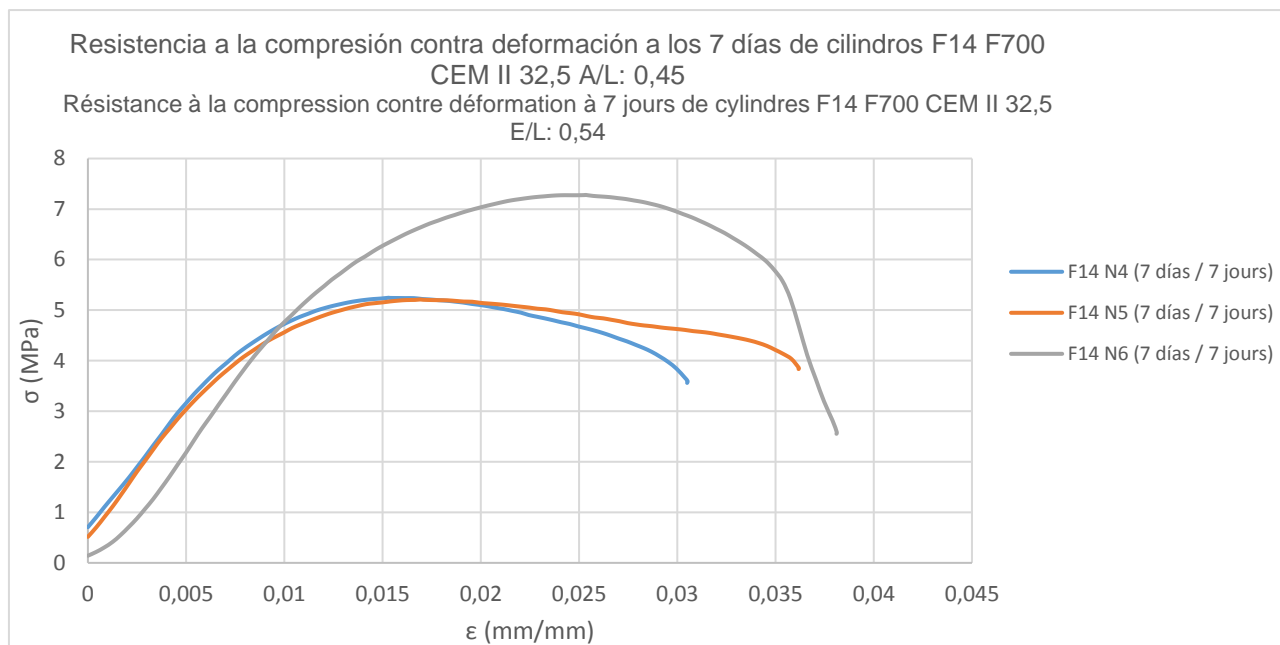


**Figura 83.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F13 F700 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 83.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F13 F700 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

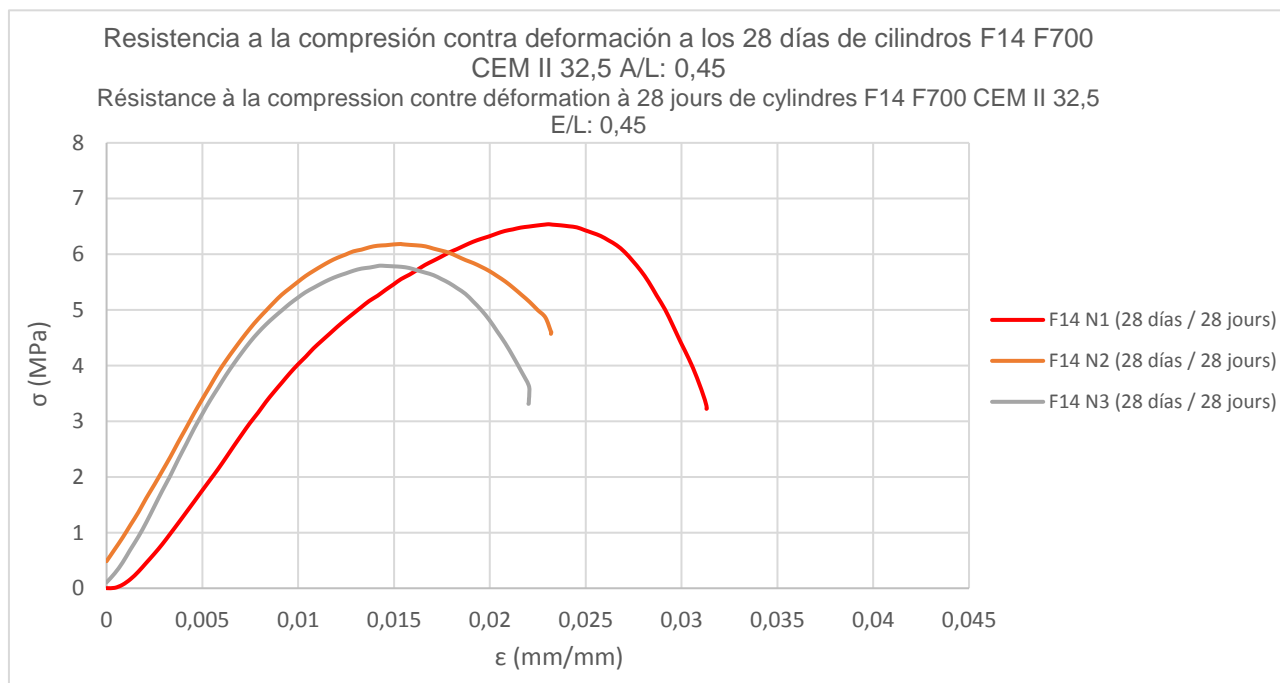


**Figura 84.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F14 F700 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

**Figure 84.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F14 F700 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

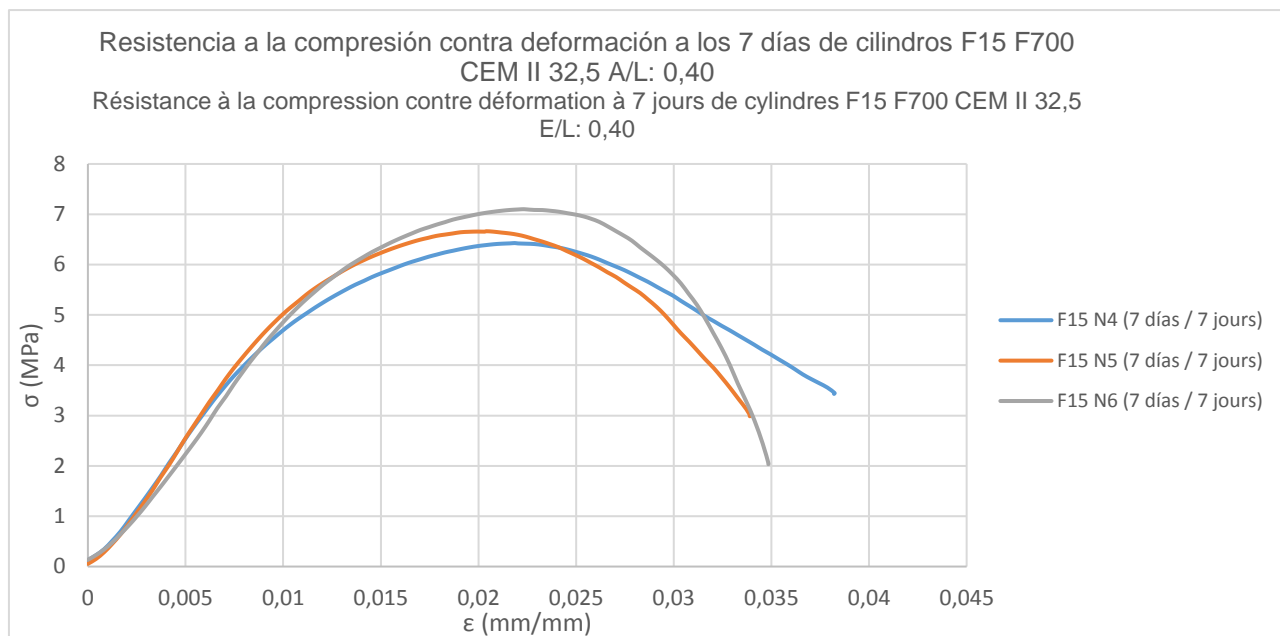


**Figura 85.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F14 F700 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

**Figure 85.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F14 F700 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

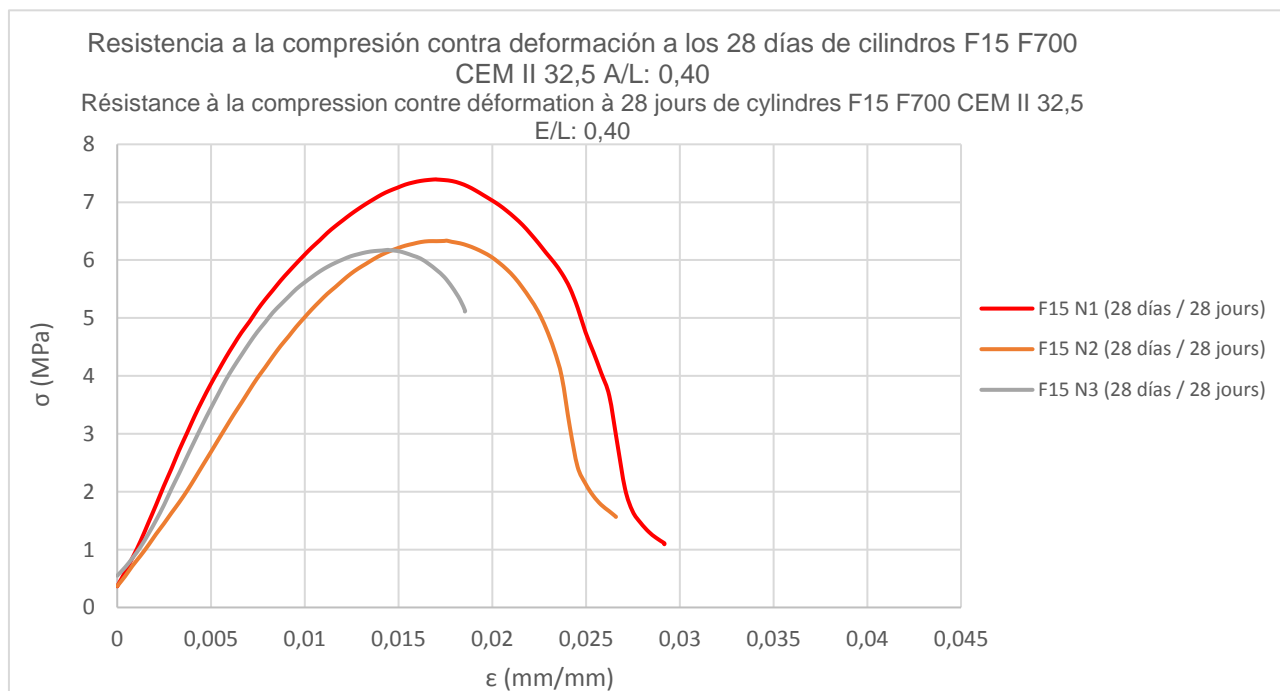


**Figura 86.** Curva de resistencia a la compres n contra deformación del ensayo de resistencia a la compres n a los 7 días en cilindros de la formulación F15 F700 CEM II 32,5 A/L: 0,40.

**Figure 86.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F15 F700 CEM II 32,5 E/L: 0,40.

Fuente. Elaboración propia.

Source élaboration propre.



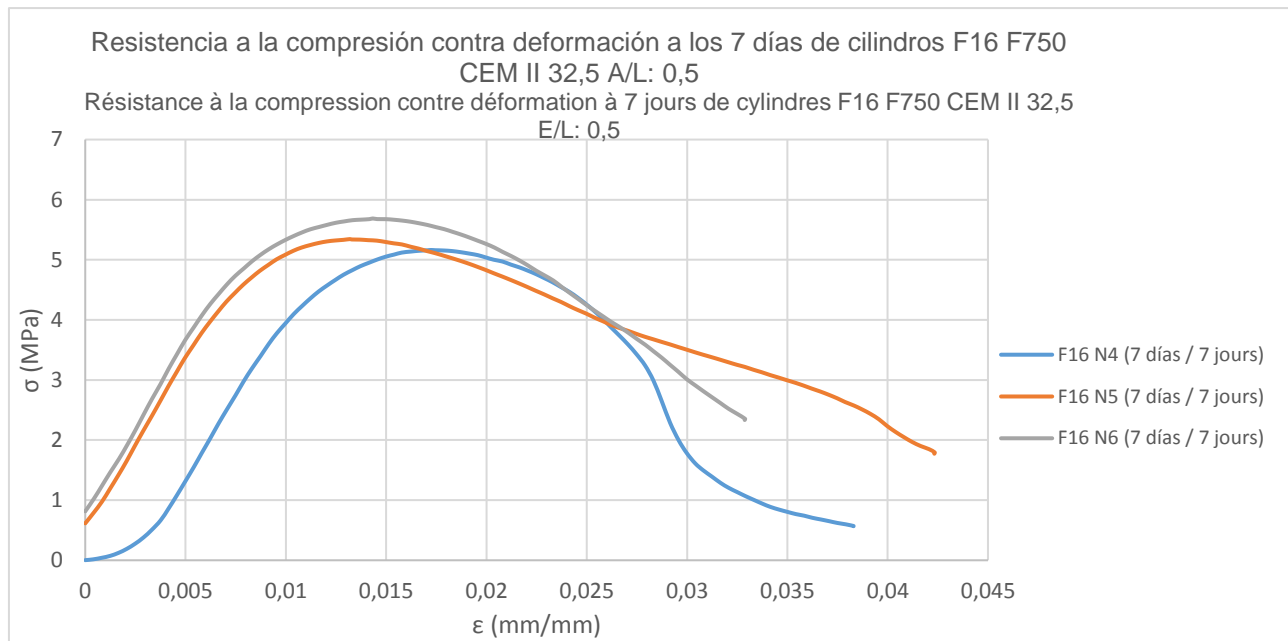
**Figura 87.** Curva de resistencia a la compres n contra deformación del ensayo de resistencia a la compres n a los 28 días en cilindros de la formulación F15 F700 CEM II 32,5 A/L: 0,40.

**Figure 87.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation   28 jours dans des cylindres de la formulation F15 F700 CEM II 32,5 E/L: 0,40.

Fuente. Elaboración propia.

Source  laboration propre.



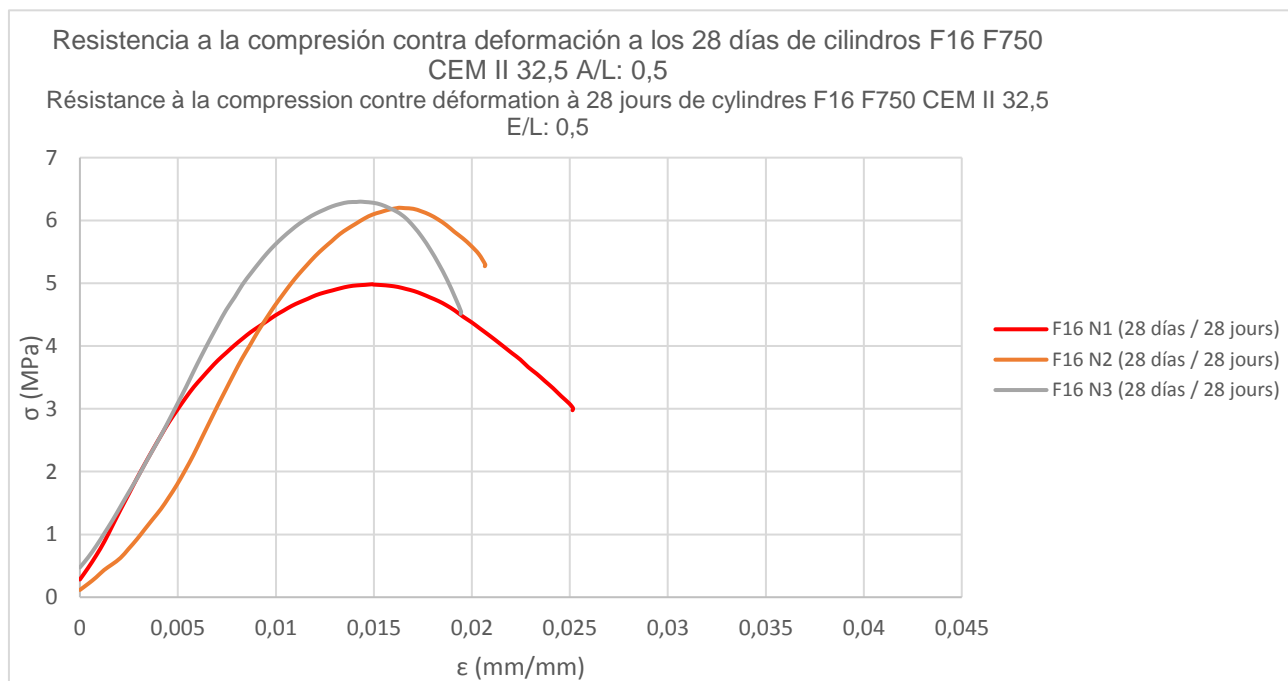


**Figura 88.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F16 F750 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 88.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F16 F750 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

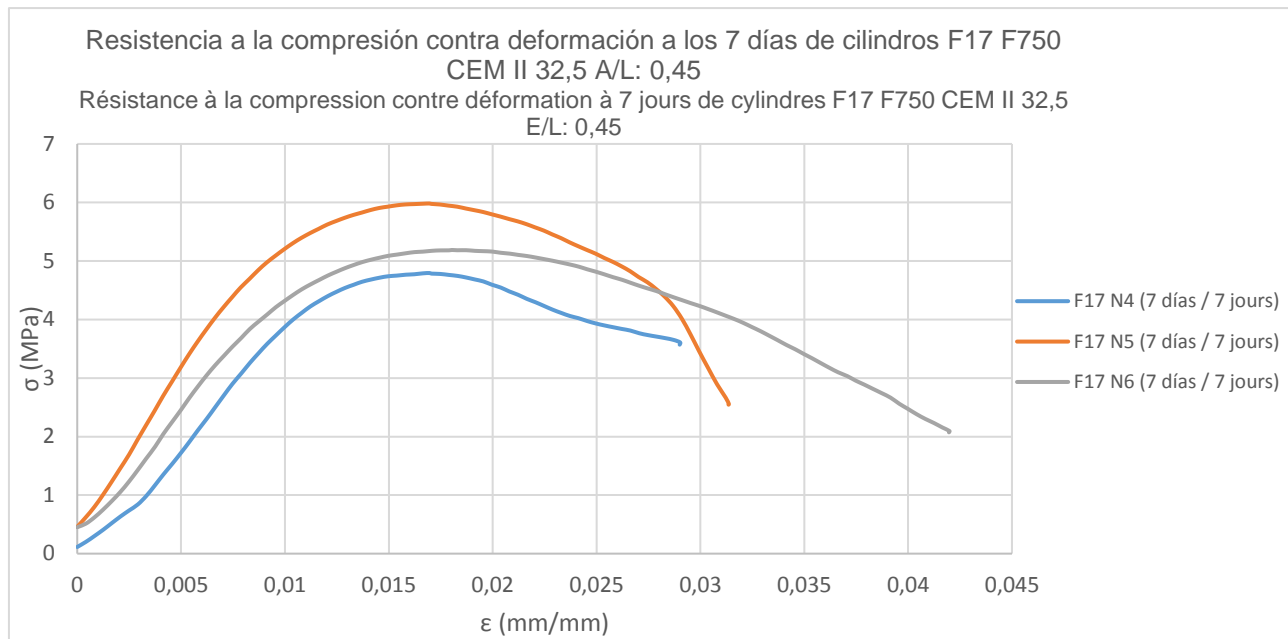


**Figura 89.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F16 F750 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 89.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F16 F750 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

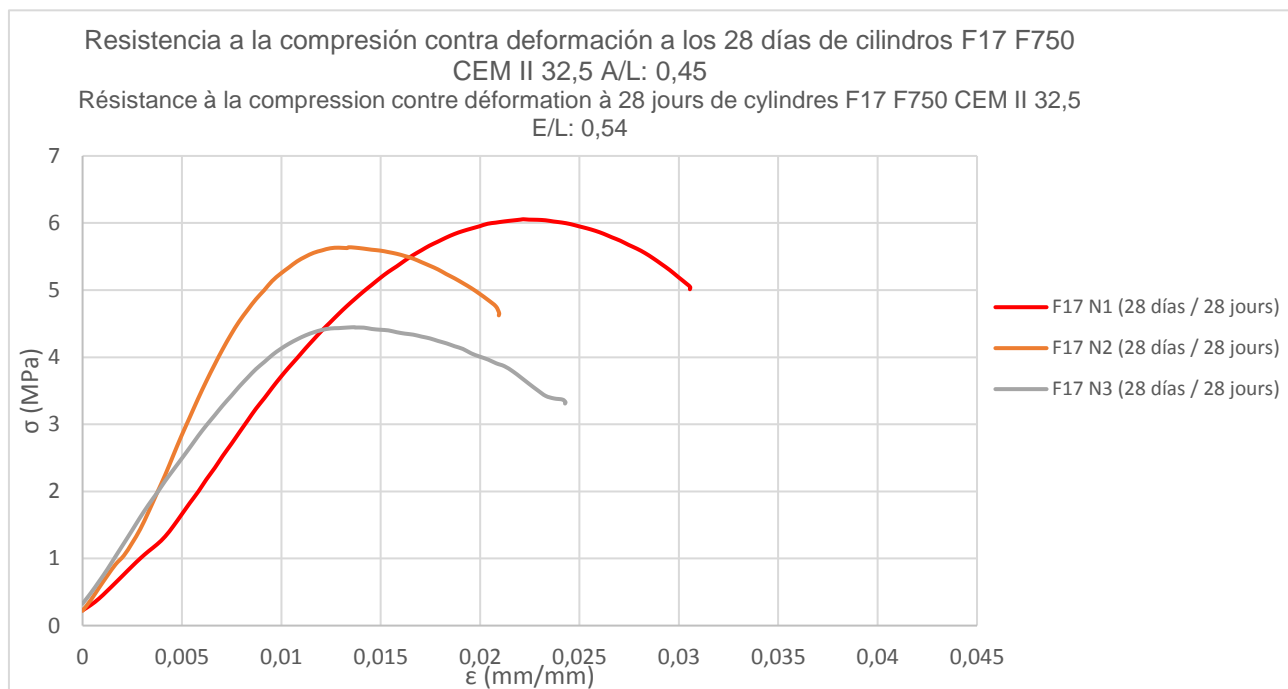


**Figura 90.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F17 F750 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

**Figure 90.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation   7 jours dans des cylindres de la formulation F17 F750 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source  laboration propre.

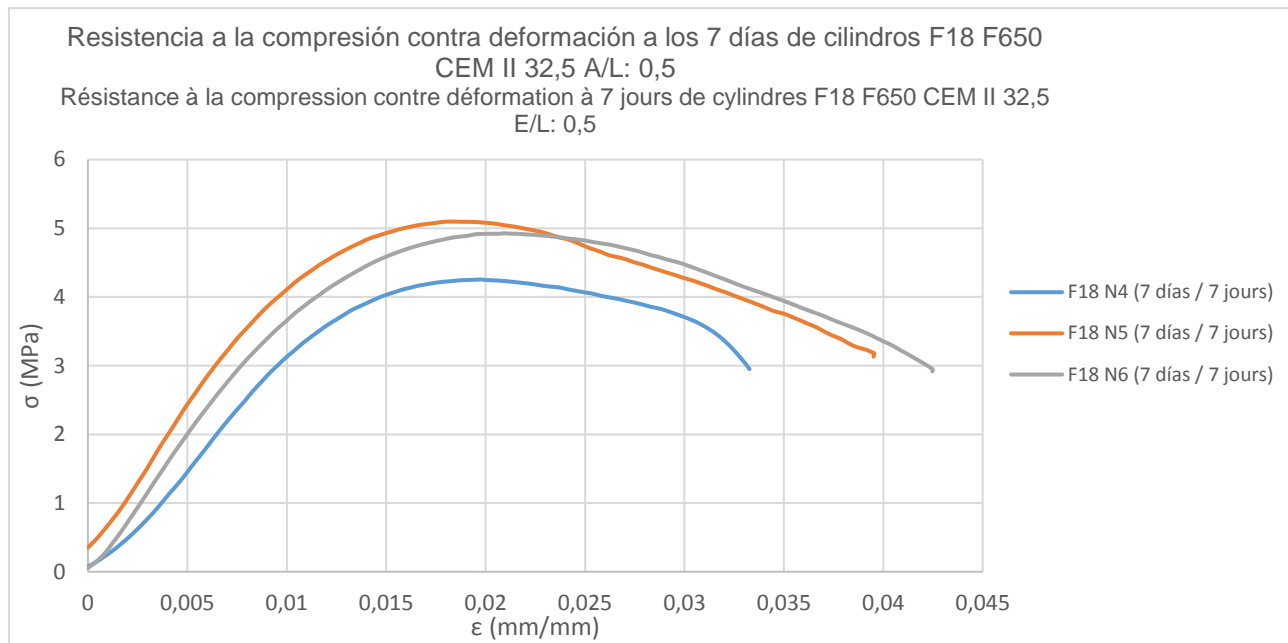


**Figura 91.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F17 F750 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

**Figure 91.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation   28 jours dans des cylindres de la formulation F17 F750 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source  laboration propre.

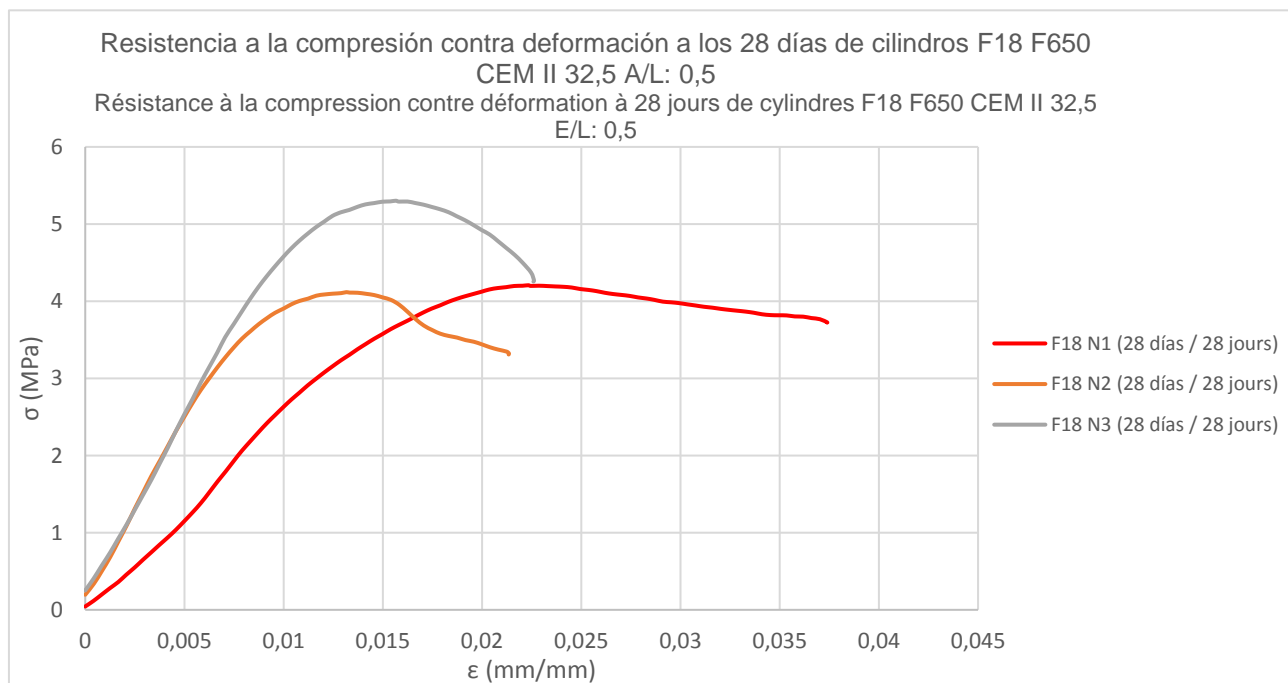


**Figura 92.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F18 F650 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 92.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F18 F650 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

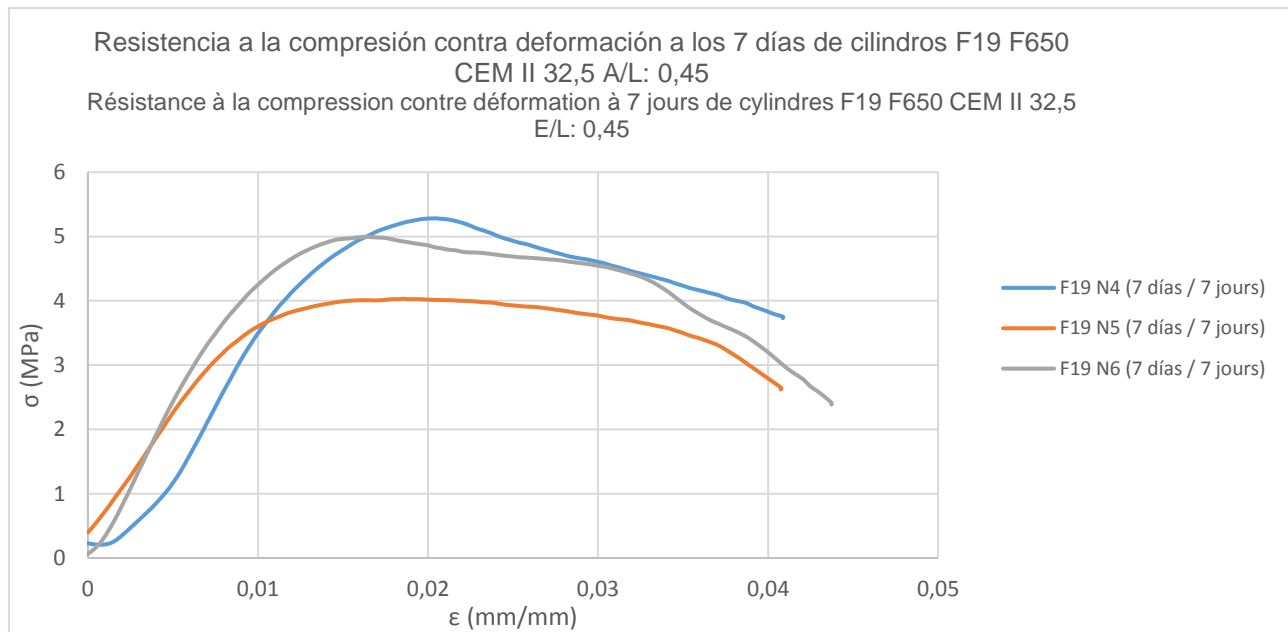


**Figura 93.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F18 F650 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 93.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F18 F650 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

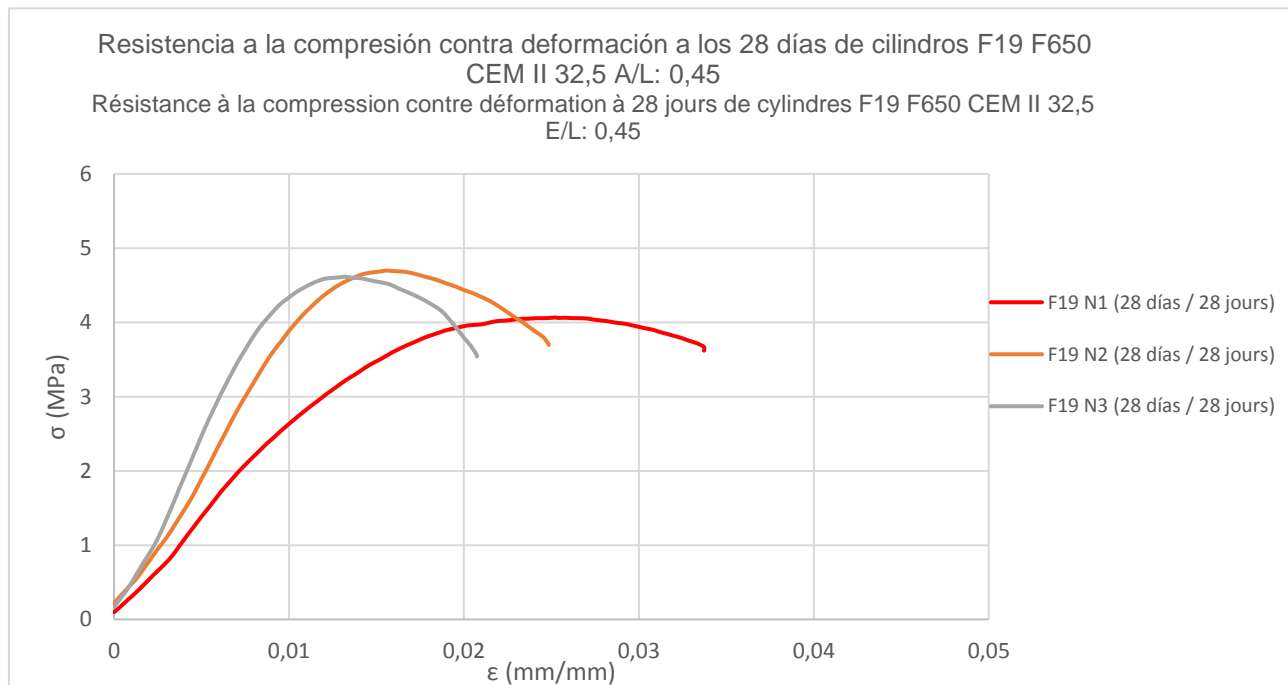


**Figura 94.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F19 F650 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

**Figure 94.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F19 F650 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

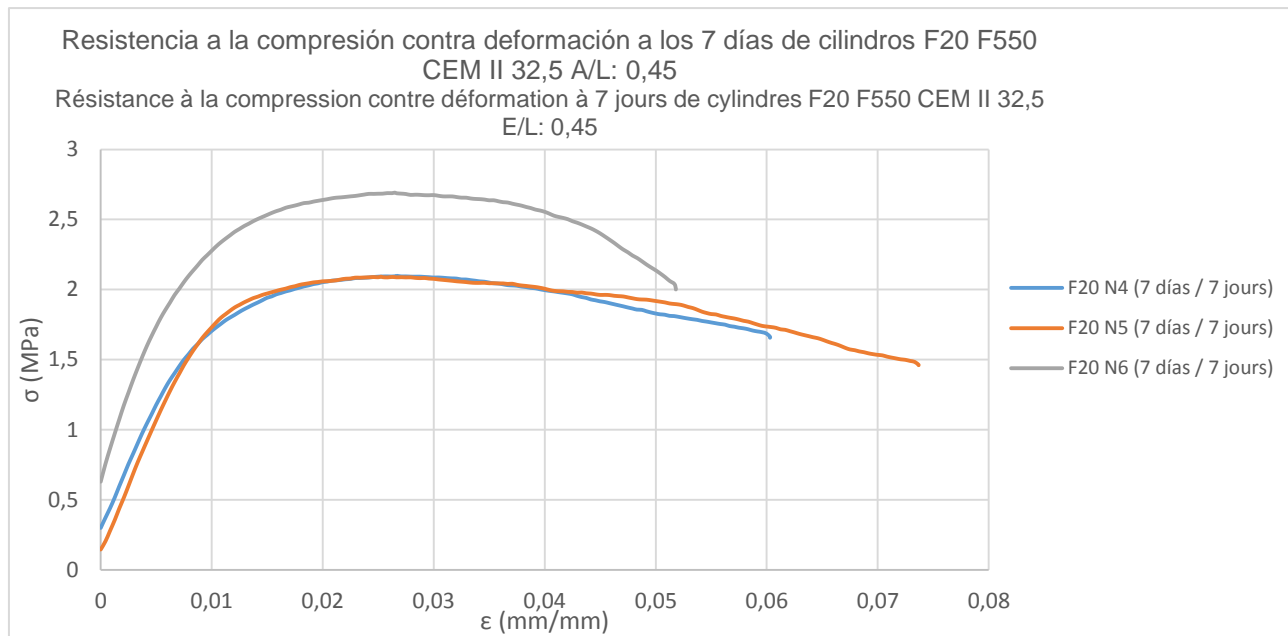


**Figura 95.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F19 F650 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

**Figure 95.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F19 F650 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

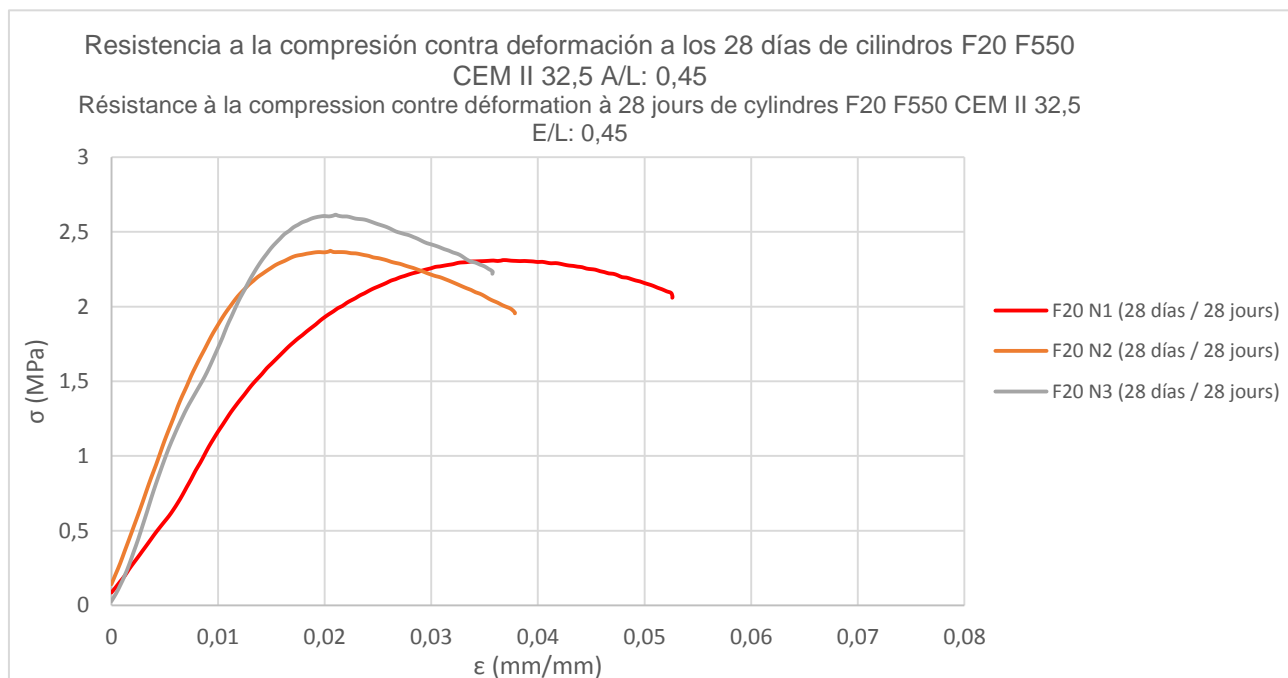


**Figura 96.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F20 F550 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

**Figure 96.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F20 F550 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

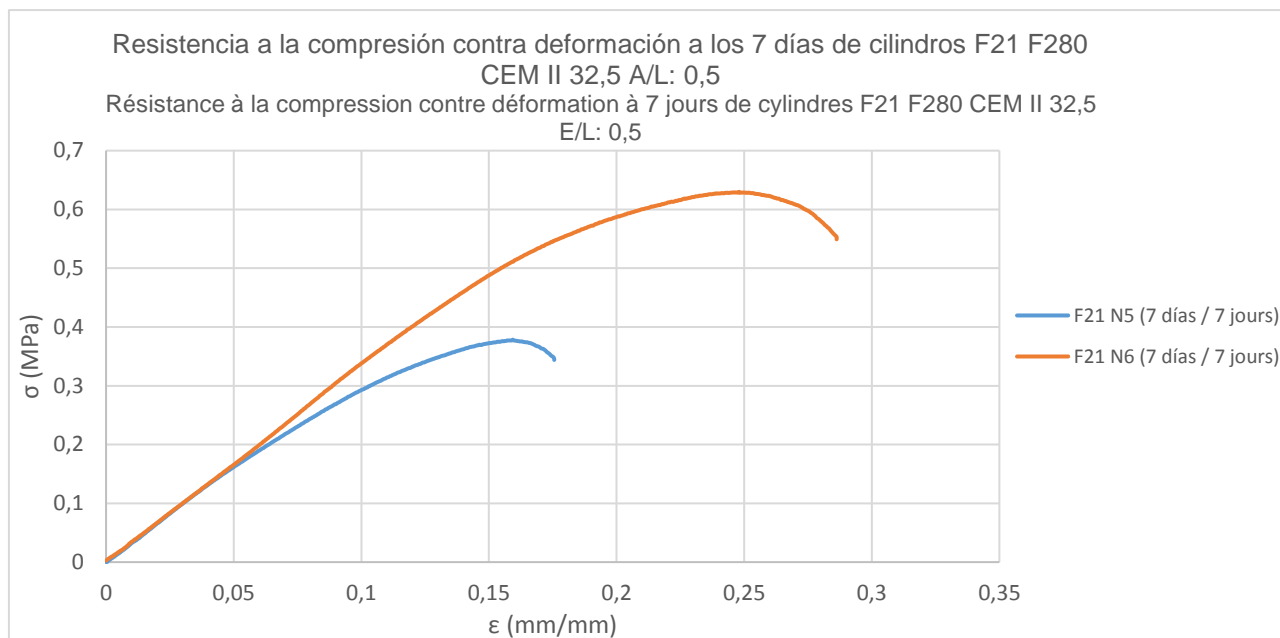


**Figura 97.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F20 F550 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

**Figure 97.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F20 F550 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

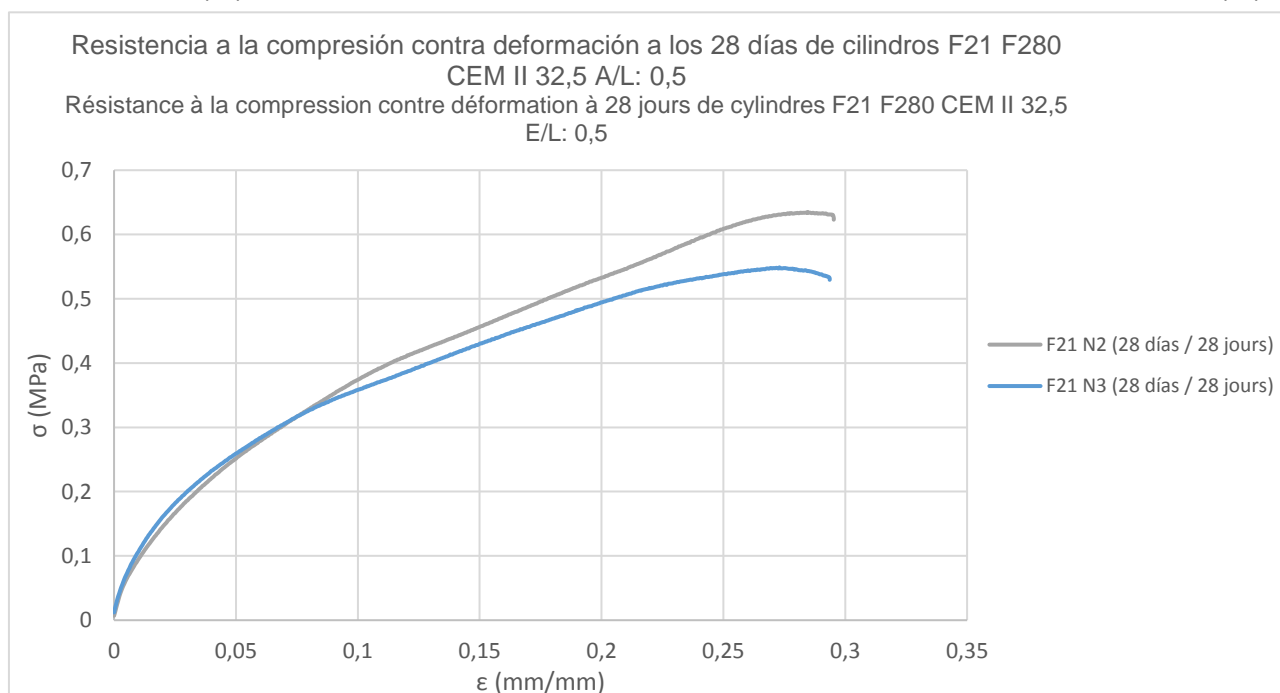


**Figura 98.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F21 F280 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 98.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F21 F280 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

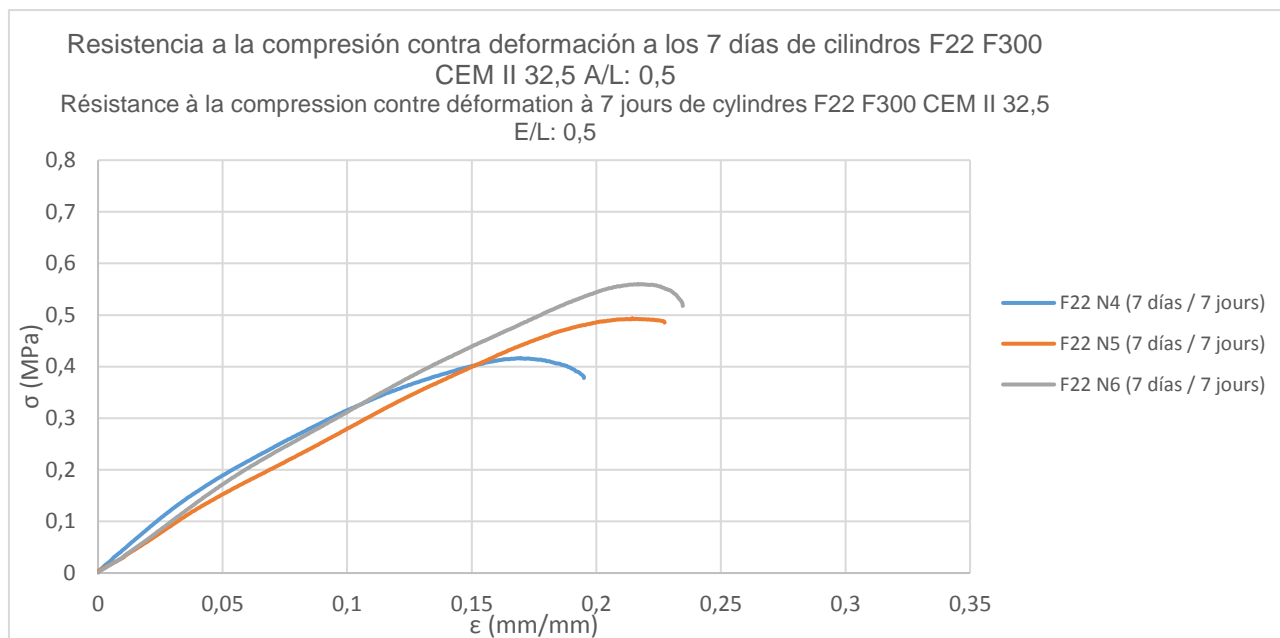


**Figura 99.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F21 F280 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 99.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F21 F280 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

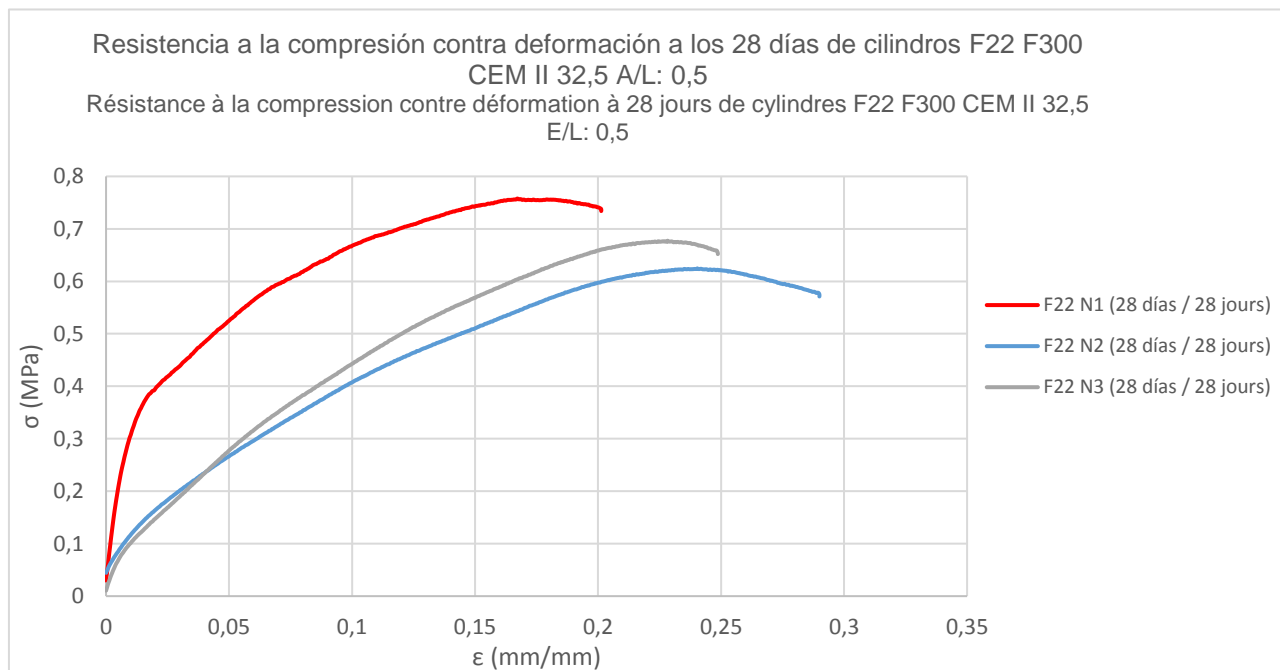


**Figura 100.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F22 F300 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 100.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F22 F300 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



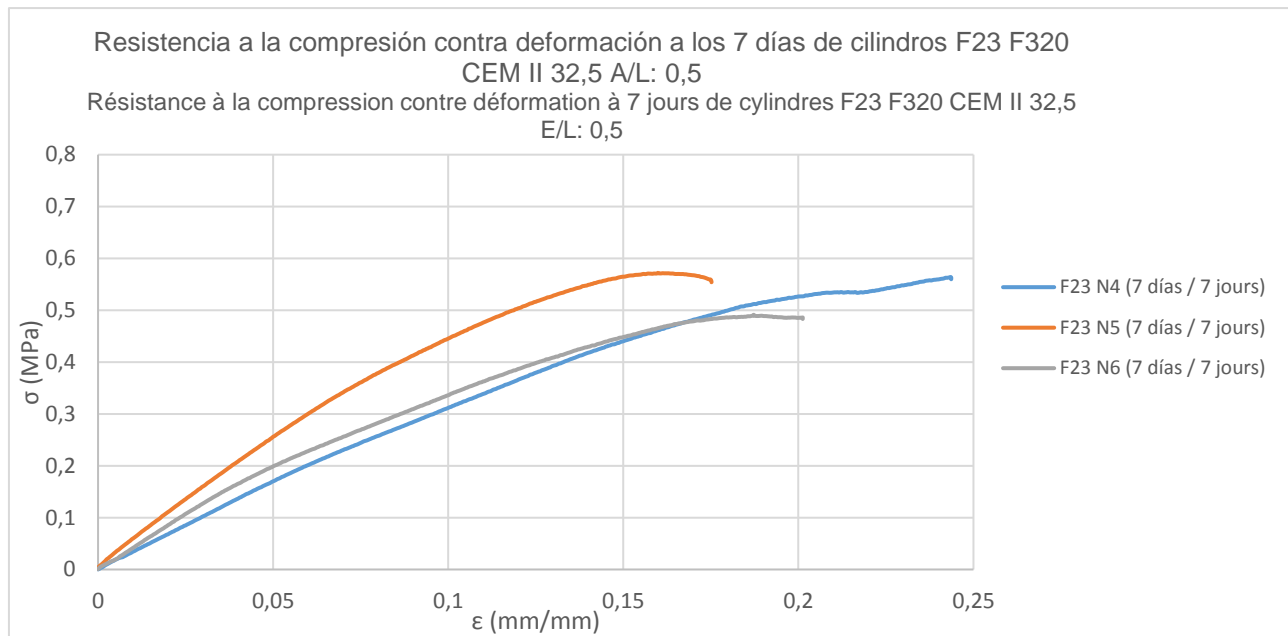
**Figura 101.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F22 F300 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 101.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F22 F300 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



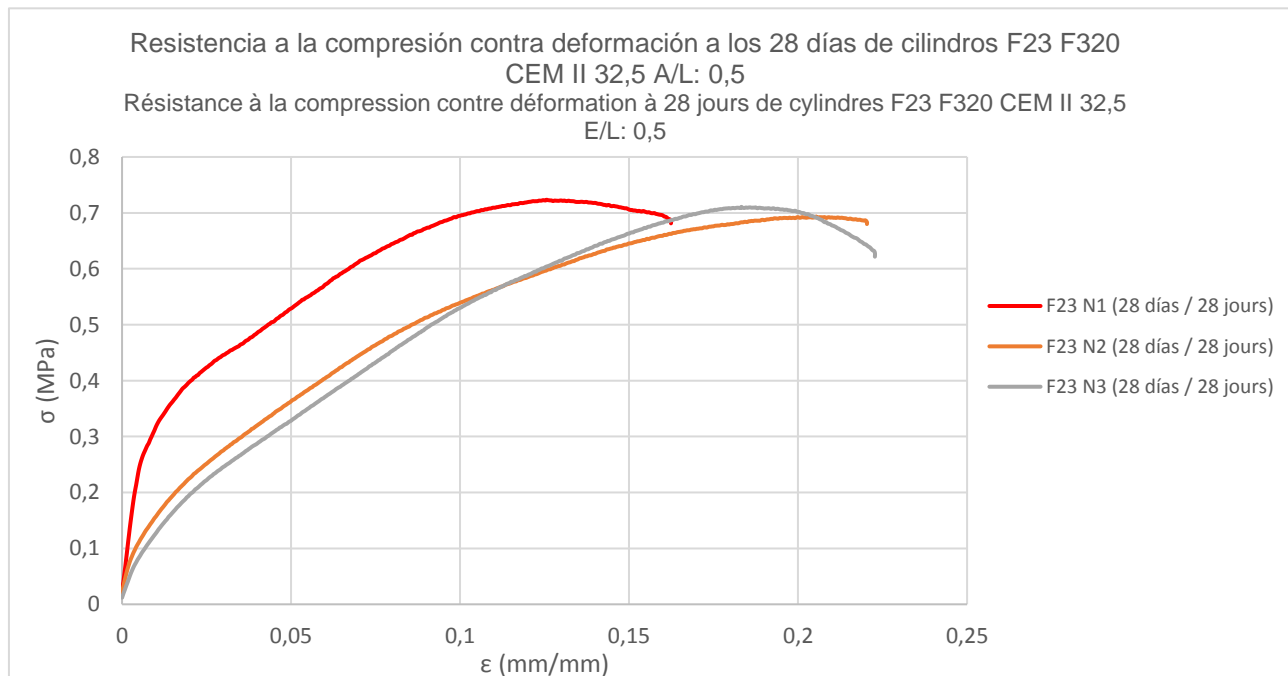


**Figura 102.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F23 F320 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 102.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F23 F320 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

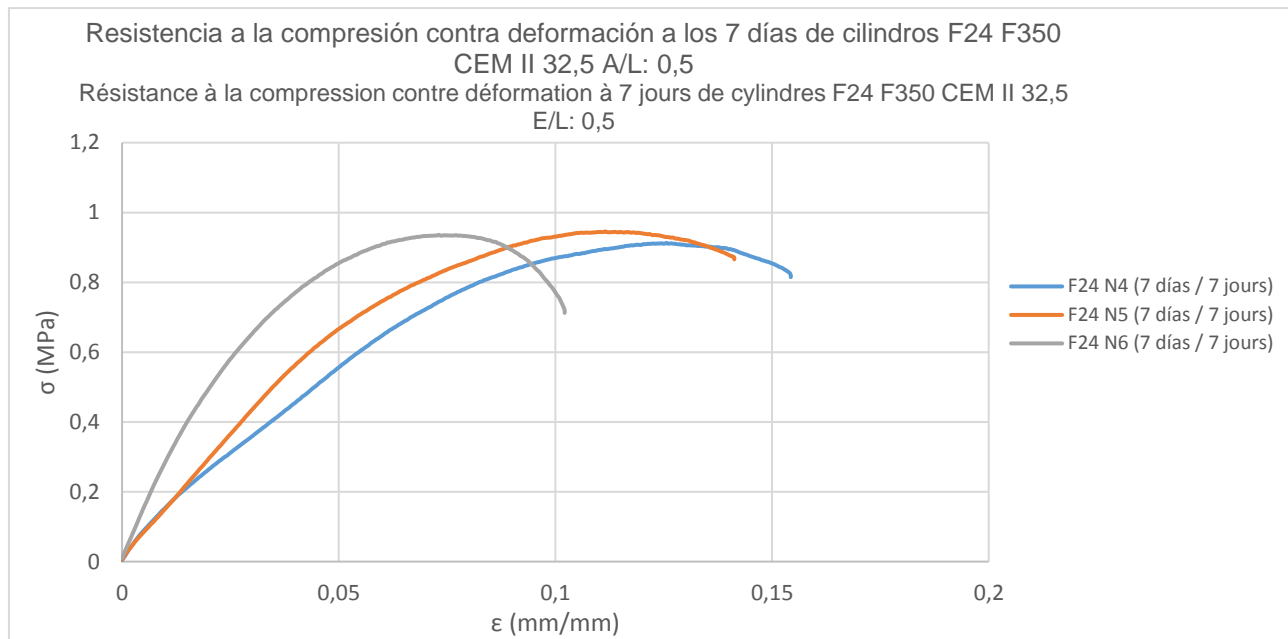


**Figura 103.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F23 F320 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 103.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F23 F320 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

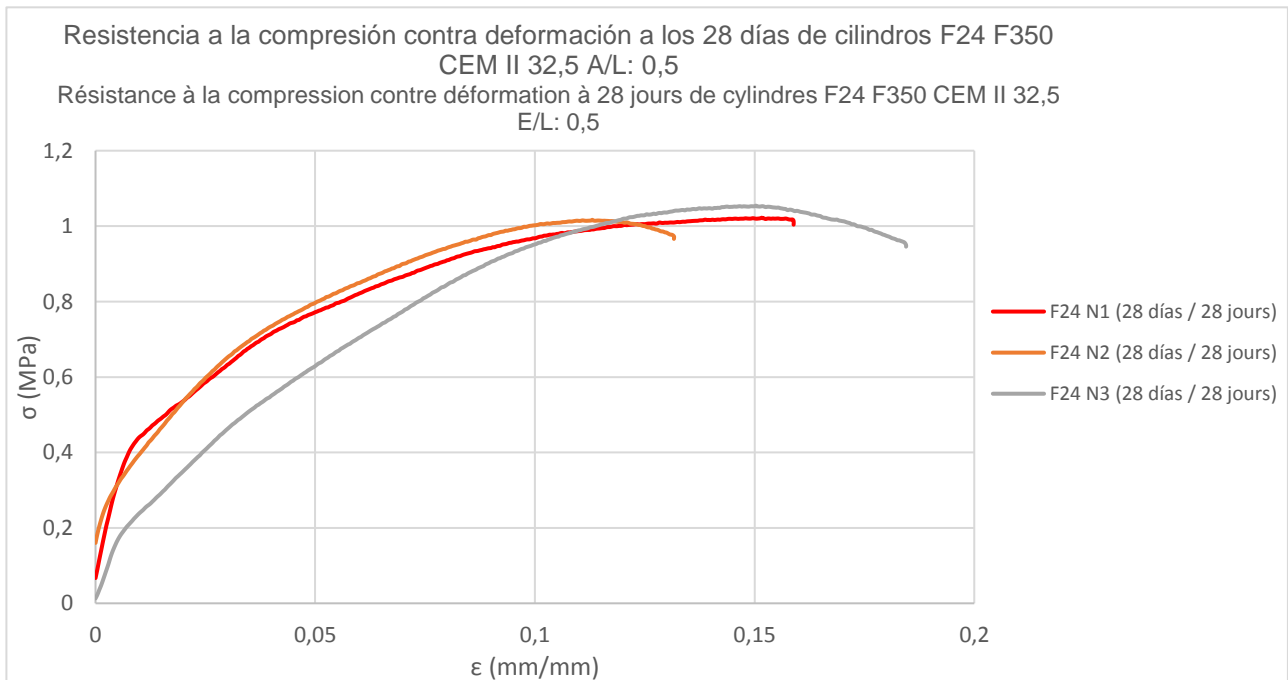


**Figura 104.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cilindros de la formulación F24 F350 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 104.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 7 jours dans des cylindres de la formulation F24 F350 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

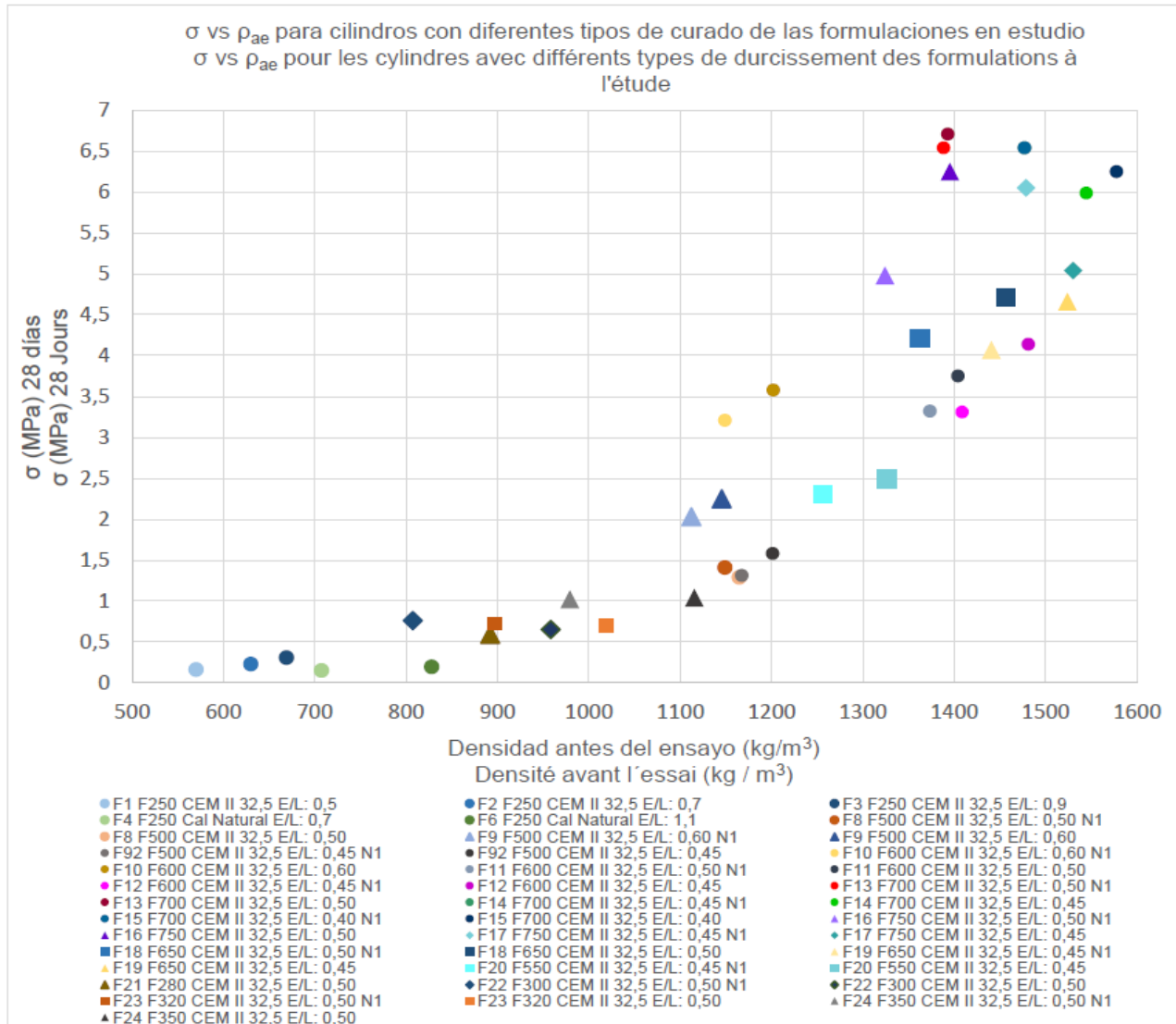


**Figura 105.** Curva de resistencia a la compresión contra deformación del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de la formulación F24 F350 CEM II 32,5 A/L: 0,50.

**Figure 105.** Essai de compression simple : Courbe contrainte déformation à 28 jours dans des cylindres de la formulation F24 F350 CEM II 32,5 E/L: 0,50.

A continuación, se presenta la gráfica que resume la información de resistencia a la compresión a los 28 días versus densidad antes del ensayo, de todas las formulaciones estudiadas en este proyecto.

Ci-dessous le graphique qui résume les informations de résistance à la compression à 28 jours en fonction de la densité avant test, de toutes les formulations étudiées dans ce projet.



**Figura 106.** Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de bio-concreto con cáscara de arroz vs densidad antes del ensayo de las diferentes formulaciones estudiadas en este proyecto.

**Figure 106.** Variation de la résistance à la compression à 28 jours dans des cylindres en bio-béton avec cosse de riz vs densité avant de tester les différentes formulations étudiées dans ce projet.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre



**Figura 107.** Falla típica presente en los cilindros del grupo de formulaciones F500.

**Figure 107.** Défaut typique présent dans les cylindres du groupe de formulations F500.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre

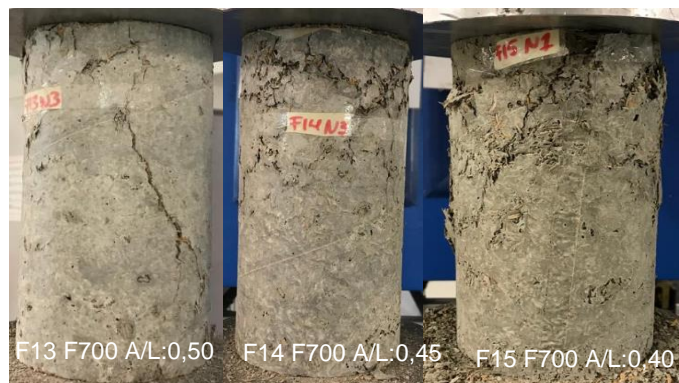


**Figura 108.** Falla típica presente en los cilindros del grupo de formulaciones F600.

**Figure 108.** Défaut typique présent dans les cylindres du groupe de formulations F600.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre



**Figura 109.** Falla típica presente en los cilindros del grupo de formulaciones F700.

**Figure 109.** Défaut typique présent dans les cylindres du groupe de formulations F700.

Fuente. Elaboración propia.

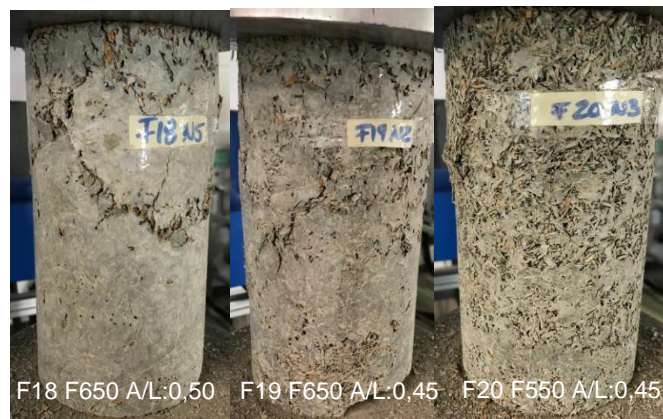
Source Élaboration propre





**Figura 110.** Falla típica presente en los cilindros del grupo de formulaciones F750.  
**Figure 110.** Défaut typique présent dans les cylindres du groupe de formulations F750.  
 Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre



**Figura 111.** Falla típica presente en los cilindros del grupo de formulaciones F650 y F550.  
**Figure 111.** Défaut typique présent dans les cylindres du groupe de formulations F650 et F550.  
 Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre



**Figura 112.** Falla típica presente en los cilindros del grupo de formulaciones F280, F300, F320 y F350.  
**Figure 112.** Défaut typique présent dans les cylindres du groupe de formulations F280, F300, F320 et F350.  
 Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

## Elementos realizados con formulaciones FCR y FFR

Una vez que se escogieron las formulaciones que cumplían con los requisitos de las normas de interés, se inició el proceso de realizar elementos tipo cilindros de 16/32 cm (diámetro/altura), prismas y bloques, con el fin de realizar ensayos mecánicos y físicos que permitieran caracterizar la formulación FCR escogida para Costa Rica y la FFR escogida para Francia.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los diferentes ensayos mecánicos realizados sobre los especímenes en estudio.

### Resistencia a la compresión sobre cilindros de bio-concreto

Se realizaron un total de 15 cilindros de la formulación FCR (F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45) y la misma cantidad para la formulación FFR (F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66). En donde, se utilizaron 9 cilindros para ser estudiados en las edades de 7, 28 y 77 días.

A continuación, las tablas 21 y 22 presentan los resultados obtenidos del ensayo de compresión en las diferentes edades de estudio.

## Éléments fabriqués avec des formulations FCR et FFR

Une fois les formulations choisies répondant aux exigences des normes d'intérêt, le processus de réalisation d'éléments de type cylindre de 16/32 cm (diamètre/hauteur), prismes et blocs a été initié, afin de réaliser des essais mécaniques et des physiciens qui ont permis de caractériser la formulation FCR choisie pour le Costa Rica et la FFR choisie pour la France.

Ensuite, les résultats obtenus à partir des différents tests mécaniques effectués sur les spécimens à l'étude sont présentés.

### Résistance à la compression sur des cylindres de bio-béton

Un total de 15 cylindres de la formulation FCR (F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45) et la même quantité ont été fabriqués pour la formulation FFR (F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66). Où, 9 cylindres ont été utilisés pour être étudiés à l'âge de 7, 28 et 77 jours.

Ensuite, le tableau 21 et 22 présente les résultats obtenus par l'essai de compression aux différents âges de l'étude.

**Tabla 21.**

**Resumen de la información obtenida en el ensayo de compresión a diferentes edades sobre cilindros de la formulación FCR de bio-concreto.**

Tableau 21.

Résumé des informations obtenues lors de l'essai de compression à différents âges sur les cylindres de la formulation FCR de bio-béton.

Cilindro Cylindre	$\rho_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	Fuerza máx. (kN) Force max. (kN)	Resistencia a la compresión máx. (MPa) $\sigma$ max. (MPa)	Deformación para la RC máx $\epsilon$ pour le $\sigma$ max.	Módulo de elasticidad aparente (MPa) E aparente (MPa)
7 días (7 jours)					
N1	-	68,4	3,4	0,0122	488,6
N2	-	70,2	3,5	0,0138	477,1
N3	-	67,2	3,4	0,0149	475,5
28 días (28 jours)					
N4	1 435	100,1	5,0	0,0158	573,3
N5	1 432	95,5	4,8	0,0161	540,8
N6	1 440	93,9	4,7	0,0179	475,5
77 días (77 jours)					
N9	1 468	128,7	6,4	0,0203	623,8
N10	1 407	98,1	4,9	0,0132	531,2
N11	1 428	103,7	5,2	0,0128	478,4

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

**Tabla 22.**

**Resumen de la información obtenida en el ensayo de compresión a diferentes edades sobre cilindros de la formulación FFR de bio-concreto.**

Tableau 22.

Résumé des informations obtenues lors de l'essai de compression à différents âges sur les cylindres de la formulation FFR de bio-béton.

Cilindro Cylindre	$\rho_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	Fuerza máx. (kN) Force max. (kN)	Resistencia a la compresión máx. (MPa) $\sigma$ max. (MPa)	Deformación para la RC máx $\epsilon$ pour le $\sigma$ max.	Módulo de elasticidad aparente (MPa) E apparente (MPa)
7 días (7 jours)					
N1	-	6,7	0,3	0,0930	30,9
N2	-	7,9	0,4	0,0892	34,3
N3	-	6,7	0,3	0,0693	32,2
28 días (28 jours)					
N4	849	11,0	0,5	0,0474	71,6
N5	875	13,4	0,7	0,0579	80,7
N6	857	11,5	0,6	0,0722	32,2
77 días (77 jours)					
N9	864	15,6	0,8	0,0317	64,1
N10	850	14,0	0,7	0,0373	57,6
N11	893	24,5	1,2	0,0198	107,5

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

**Tabla 23.**

**Promedio de la información obtenida en el ensayo de compresión a diferentes edades sobre cilindros de las formulaciones FCR y FFR de bio-concreto.**

Tableau 23.

Moyenne des informations obtenues dans l'essai de compression à différents âges sur des cylindres des formulations FCR et FFR de bio-béton.

Edad (días) L'âge (jours)	$\rho_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	Fuerza máx. (kN) Force max. (kN)	Resistencia a la compresión máx. (MPa) $\sigma$ max. (MPa)	Deformación para la RC máx $\epsilon$ pour le $\sigma$ max.	Módulo de elasticidad aparente (MPa) E apparente (MPa)
Formulación (Formulation) FCR					
7	-	68,6	3,4	0,0136	480,4
28	1 436	96,5	4,8	0,0166	529,9
77	1 435	110,2	5,5	0,0154	544,5
Formulación (Formulation) FFR					
7	-	7,1	0,4	0,0838	32,5
28	861	12,0	0,6	0,0592	61,5
77	869	18,0	0,9	0,0296	76,4

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

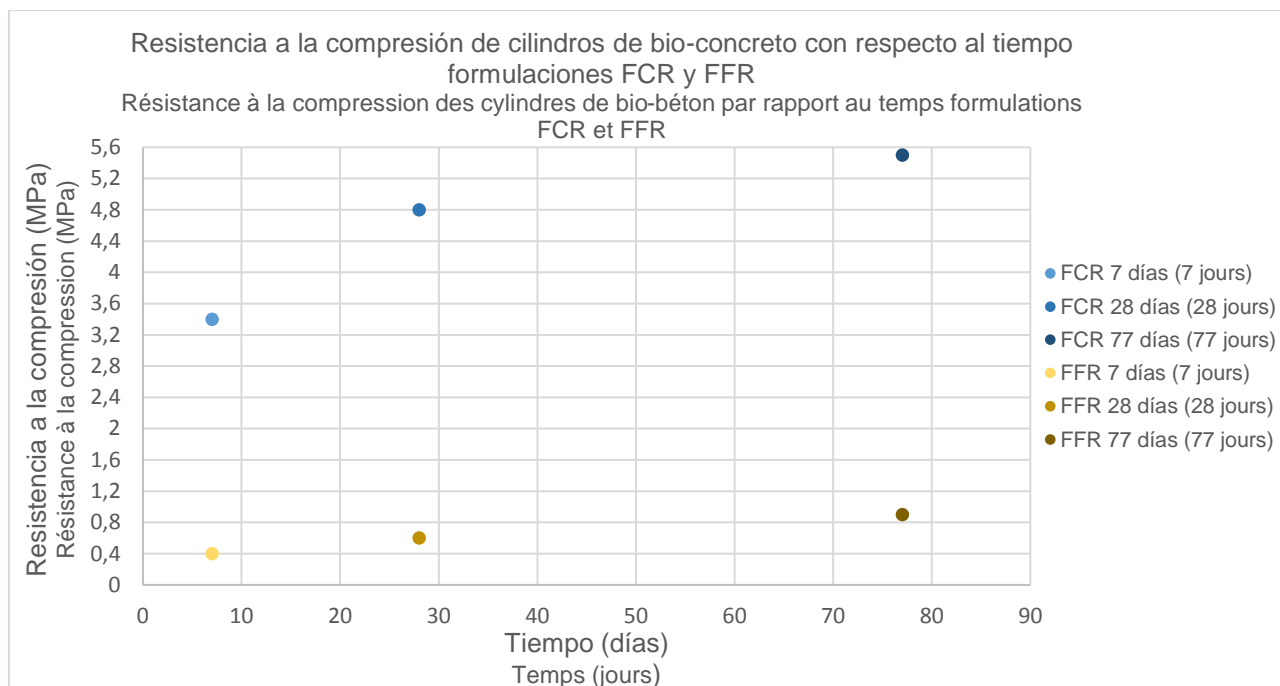
Nota sobre las tablas 21, 22 y 23:

- Todos los cilindros fueron desmoldados a los 7 días de edad.
- Ningún cilindro fue ingresado al horno y se dejaron reposar en el laboratorio a temperatura ambiente hasta la fecha de ensayo.
- Tamaño de los cilindros 16 cm/32 cm (diámetro/altura).

Remarque sur les tableaux 21, 22 et 23:

- Tous les cylindres ont été démoulés à l'âge de 7 jours.
- Aucun n'a été placée dans le four et tous laissés au laboratoire à température ambiante jusqu'à la date du test.
- Taille du cylindre 16 cm / 32 cm (diamètre/hauteur).





**Figura 113.** Evolución de la resistencia a la compresión en cilindros de bio-concreto con respecto al tiempo de las formulaciones escogidas para caracterización y cumplimiento de normas de los países de interés.

**Figure 113.** Evolution of the resistance to compression of cylinders in bio-béton in function of the time of the formulations chosen for the characterization and the respect of the norms of the countries of interest.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 114.** Cilindros de las formulaciones FFR (F25 F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66) y FCR (F12 F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45) en la parte superior antes del ensayo de resistencia a la compresión a 7 días y en la parte inferior ya fallados ante la compresión.

**Figure 114.** Cylinders of the formulations FFR (F25 F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66) and FCR (F12 F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45) at the top before the resistance to compression test at 7 days and at the bottom after failure.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.





**Figura 115.** Cilindros de las formulaciones FFR (F25 F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66) y FCR (F12 F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45) en la parte superior antes del ensayo de resistencia a la compresión a 28 días y en la parte inferior ya fallados ante la compresión.

**Figure 115.** Cylindres des formulations FFR (F25 F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66) et FCR (F12 F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45) en haut avant l'essai de résistance la compression à 28 jours et en bas après rupture.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 116.** Cilindros de las formulaciones FFR (F25 F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66) y FCR (F12 F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45) en la parte superior antes del ensayo de resistencia a la compresión a 77 días y en la parte inferior ya fallados ante la compresión.

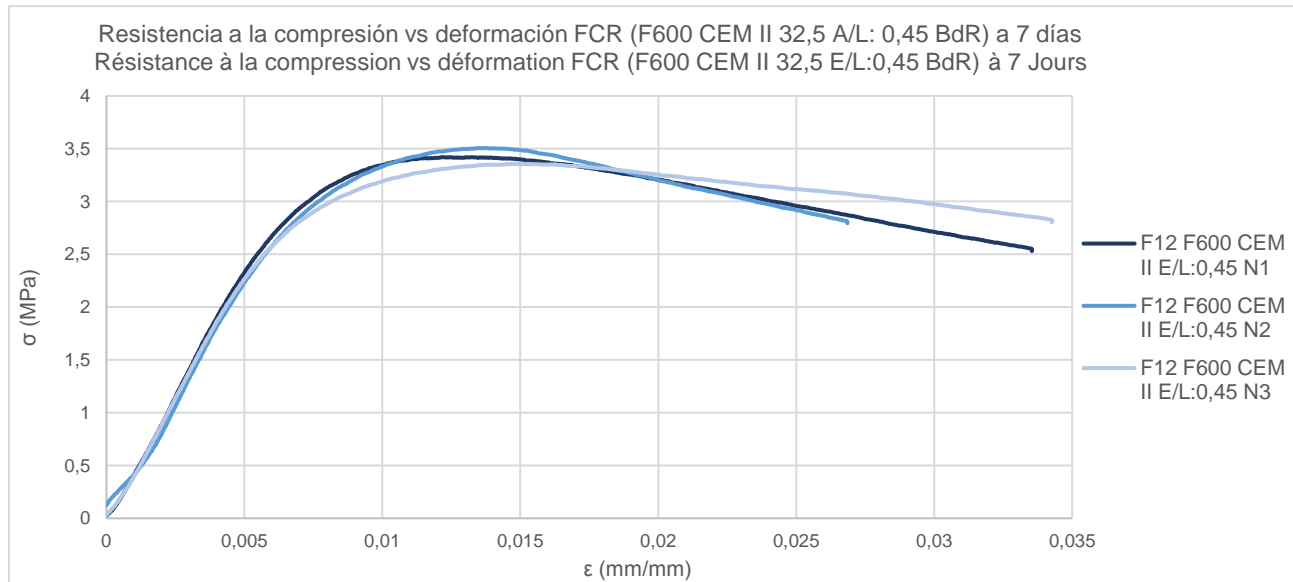
**Figure 116.** Cylindres des formulations FFR (F25 F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66) et FCR (F12 F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45) en haut avant l'essai de résistance la compression à 77 jours et en bas après rupture.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

Las siguientes figuras muestran las gráficas de resistencia a la compresión vs deformación de los cilindros ensayados de las formulaciones FCR y FFR, provenientes de los ensayos de compresión sobre cilindros realizados en las edades de 7, 28 y 77 días para cada formulación.

Les figures suivantes montrent les graphiques de résistance à la compression par rapport à la déformation des cylindres testés dans les formulations FCR et FFR, à partir les essais de compression sur cylindres effectués aux âges de 7, 28 et 77 jours pour chaque formulation.

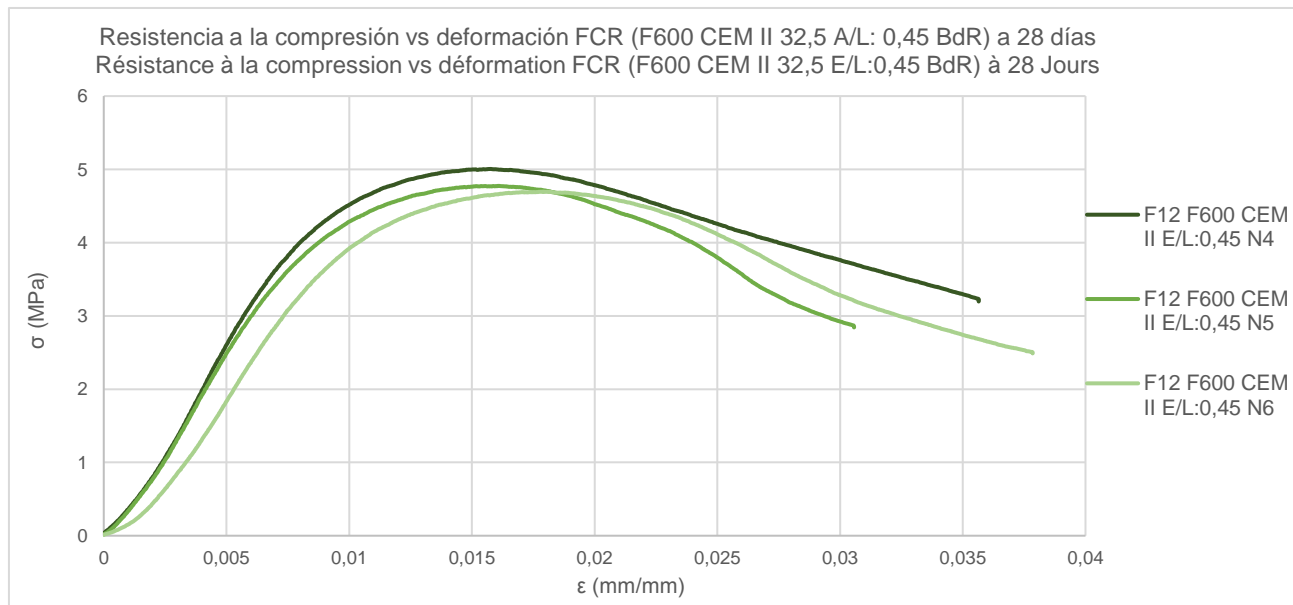


**Figura 117.** Curvas de los tres cilindros sometidos al ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días de la formulación FCR.

**Figure 117.** Courbes des trois cylindres soumis à l'essai de résistance à la compression 7 jours après la formulation FCR.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

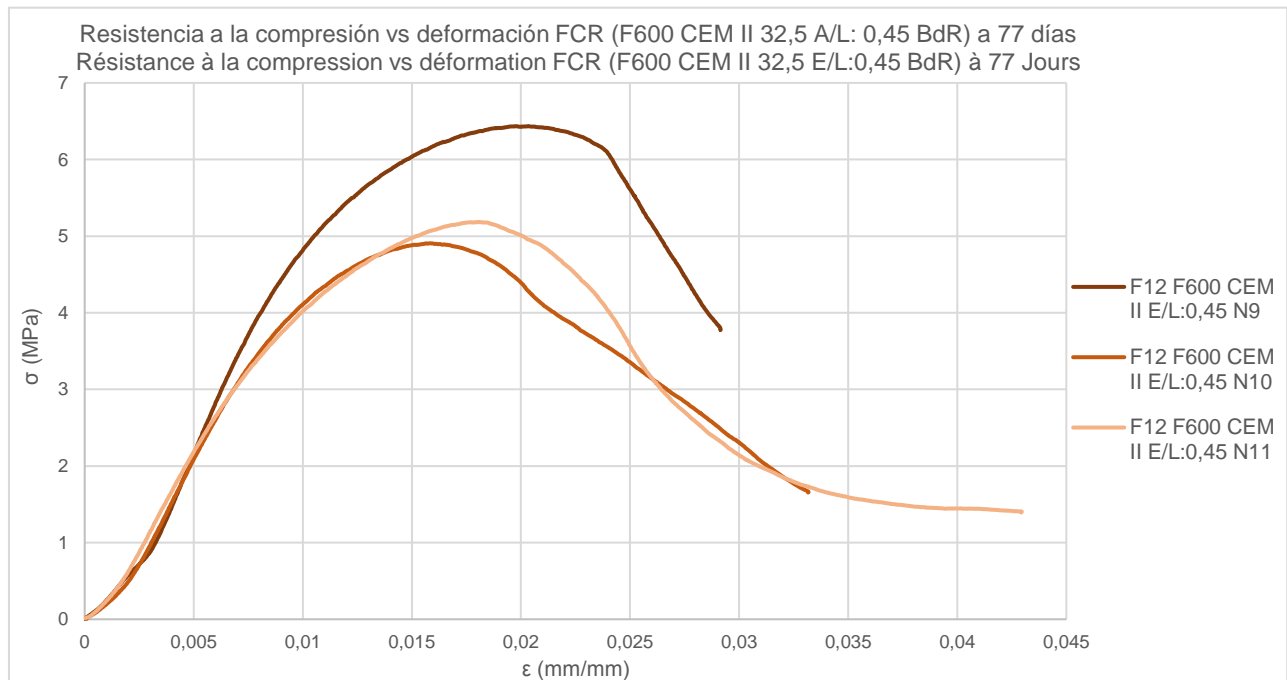


**Figura 118.** Curvas de los tres cilindros sometidos al ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de la formulación FCR.

**Figure 118.** Courbes des trois cylindres soumis à l'essai de résistance à la compression 28 jours après la formulation FCR.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

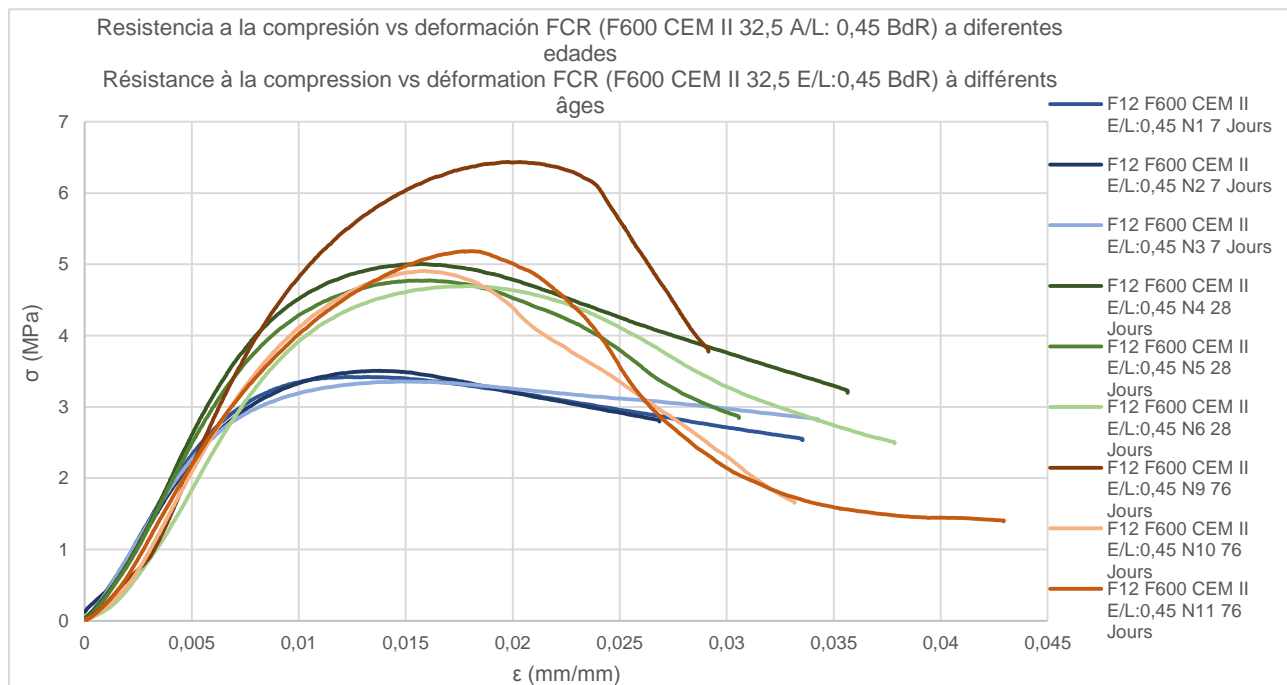


**Figura 119.** Curvas de los tres cilindros sometidos al ensayo de resistencia a la compresión a los 77 días de la formulación FCR.

**Figure 119.** Courbes des trois cylindres soumis à l'essai de résistance à la compression 77 jours après la formulation FCR.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

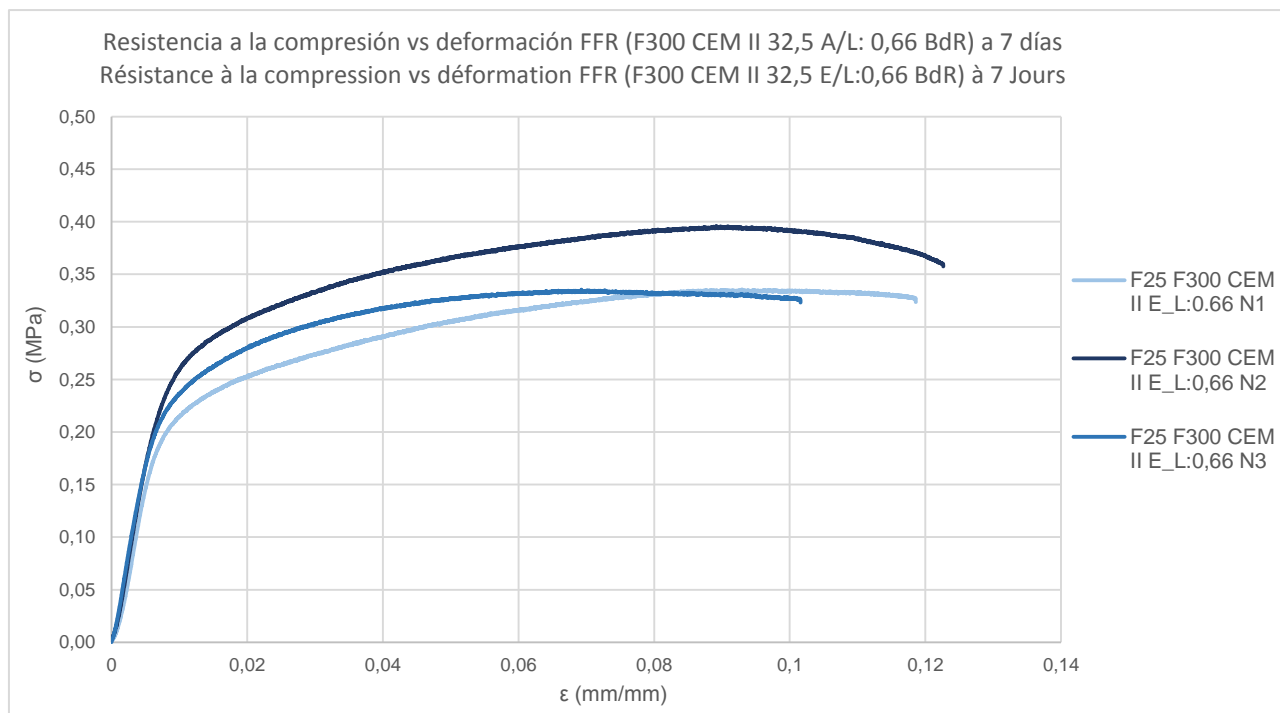


**Figura 120.** Resumen de las curvas de resistencia a la compresión vs deformación de cilindros ensayos a diferentes edades de la formulación FCR.

**Figure 120.** Résumé des courbes de résistance à la compression vs essais de déformation des cylindres à différents âges de la formulation FCR.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

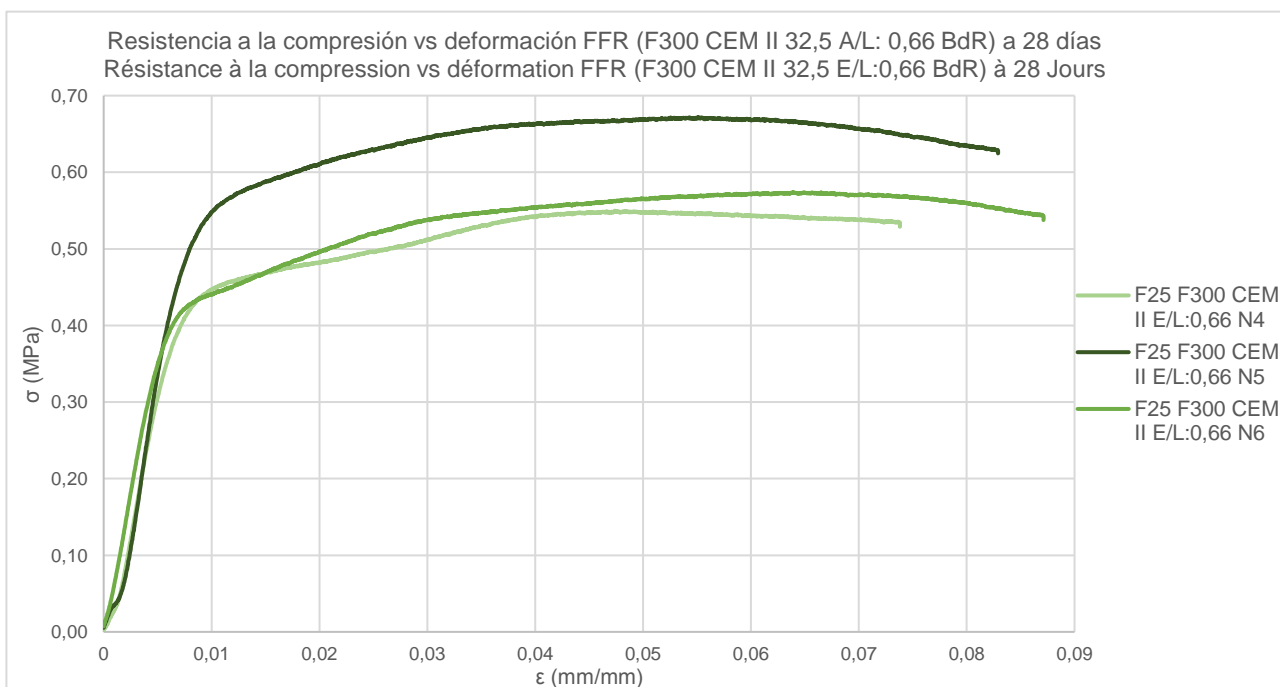


**Figura 121.** Curvas de los tres cilindros sometidos al ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días de la formulación FFR.

**Figure 121.** Courbes des trois cylindres soumis à l'essai de résistance à la compression 7 jours après la formulation FFR.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



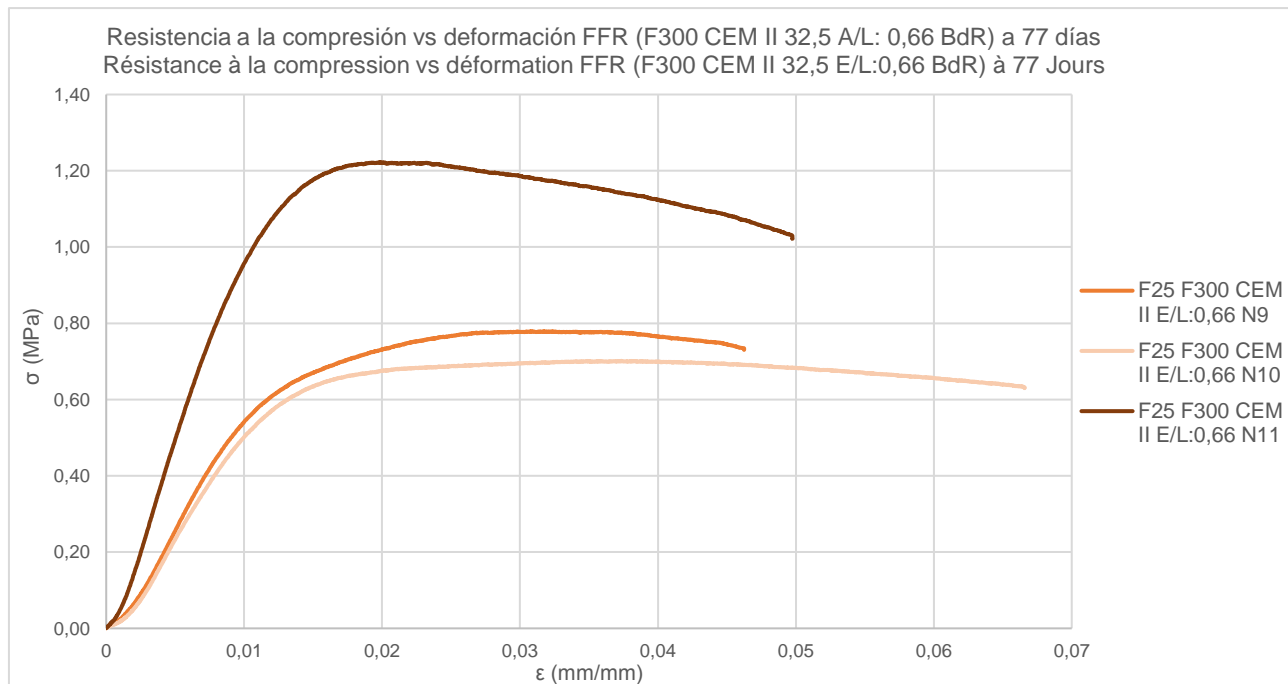
**Figura 122.** Curvas de los tres cilindros sometidos al ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de la formulación FFR.

**Figure 122.** Courbes des trois cylindres soumis à l'essai de résistance à la compression 28 jours après la formulation FFR.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



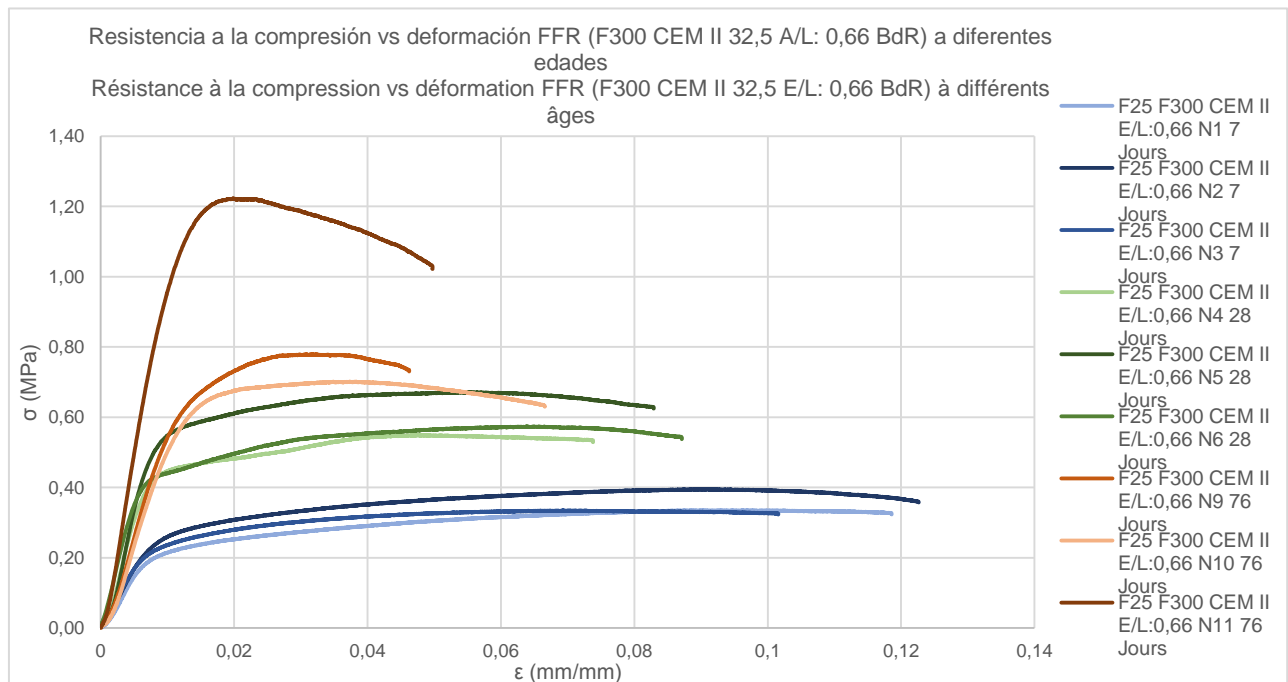


**Figura 123.** Curvas de los tres cilindros sometidos al ensayo de resistencia a la compresión a los 77 días de la formulación FFR.

**Figure 123.** Courbes des trois cylindres soumis à l'essai de résistance à la compression 77 jours après la formulation FFR.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 124.** Resumen de las curvas de resistencia a la compresión vs deformación de cilindros ensayos a diferentes edades de la formulación FCR.

**Figure 124.** Résumé des courbes de résistance à la compression vs essais de déformation des cylindres à différents âges de la formulation FCR.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

## Resistencia a la flexión sobre prismas de bio-concreto

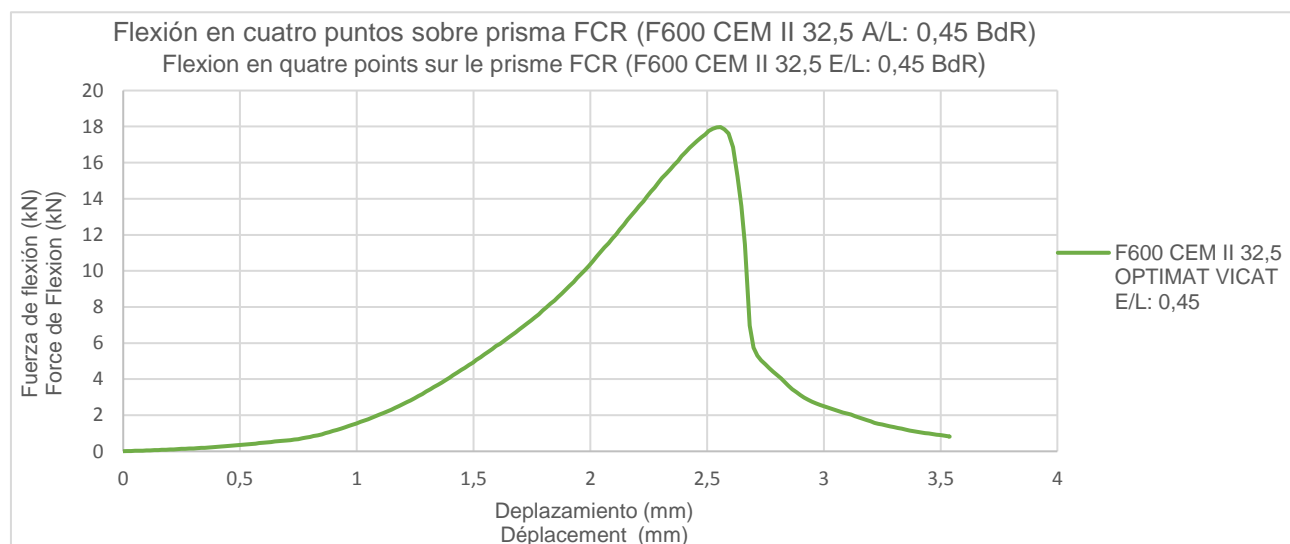
En este apartado, se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la flexión, realizado sobre prismas de bio-concreto.

Además, de haberse ensayado prismas elaborados con las formulaciones FCR y FFR, a modo de comparación, se ensayaron prismas de bio-concreto con cáscara de arroz elaborados en el trabajo de investigación de (Mardama Nayagom, 2019). Por lo que en la figura 125, 127 y 129 se muestra los resultados de la fuerza soportada por los diferentes prismas ensayados con respecto al desplazamiento sufrido por estos durante el ensayo.

## Résistance à la flexion sur des prismes en bio-béton

Dans cette section, les résultats obtenus pour des essais de flexion en 4 points, réalisé sur des prismes en bio-béton, sont présentés.

De plus, si les prismes faits avec les formulations FCR et FFR, ont été testées à titre de comparaison, les prismes de bio-béton avec la balle de riz préparée dans le cadre des travaux de recherche de (Mardama Nayagom, 2019) ont été testées. Les résultats de la force supportée par les différentes prismes testées en fonction de concerne le déplacement impose pendant l'essai sont présentés figures 125, 127 et 129.



**Figura 125.** Curva de fuerza de flexión vs desplazamiento sobre una viga de bio-concreto sobre dos apoyos simples y dos puntos de aplicación de fuerza.

**Figure 125.** Courbe de force de flexion vs déplacement sur une poutre en bio-béton sur en essai de flexion 4 points.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

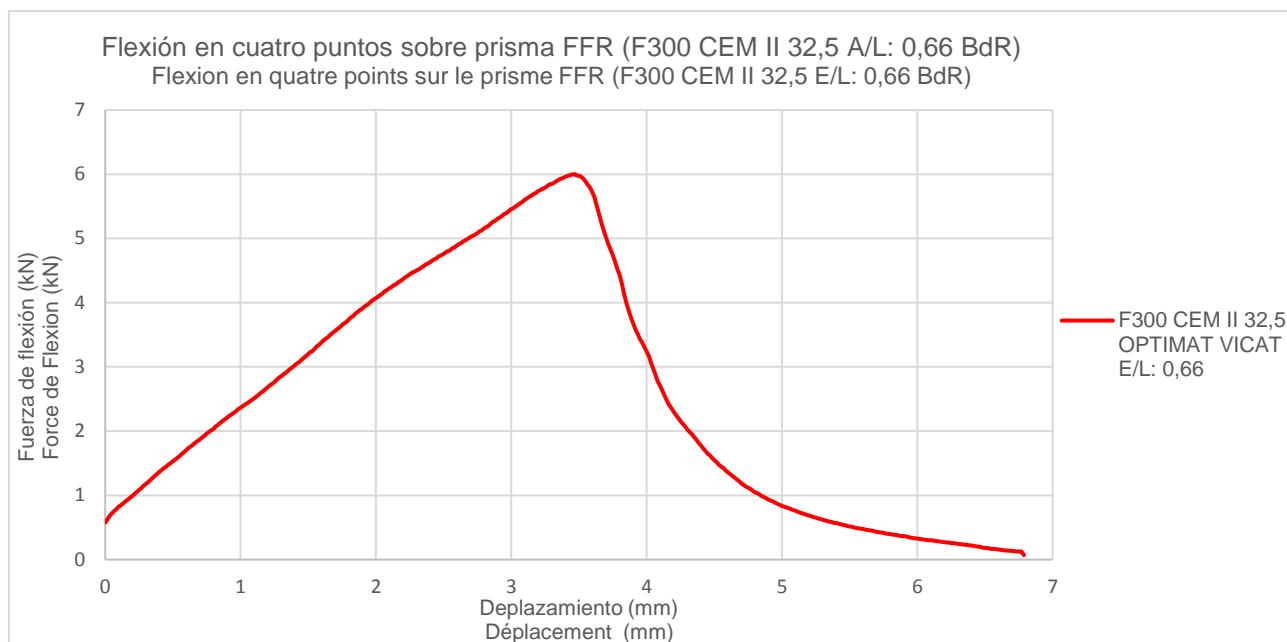


**Figura 126.** Prisma de bio-concreto formulación FCR (F600 CEM II 32,5 A/L: 0,66) lado izquierdo antes del ensayo de flexión lado derecho después del ensayo de flexión.

**Figure 126.** Formulation de prisme de bio-béton FCR (F600 CEM II 32,5 A/L: 0,66) côté gauche avant l'essai de flexion du côté droit après l'essai de flexion.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 127.** Curva de fuerza de flexión vs desplazamiento sobre una viga de bio-concreto sobre dos apoyos simples y dos puntos de aplicación de fuerza.

**Figure 127.** Courbe de force de flexion vs déplacement sur une poutre en bio-béton sur en essai de flexion 4 points.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 128.** Prisma de bio-concreto formulación FFR (F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66) lado izquierdo antes del ensayo de flexión lado derecho después del ensayo de flexión.

**Figure 128.** Formulation de prisme de bio-béton FFR (F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66) côté gauche avant l'essai de flexion du côté droit après l'essai de flexion.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

En la tabla 24, se muestra el resultado del ensayo de flexión sobre cuatro puntos realizado en vigas de concreto con cáscara de arroz. Las primeras dos formulaciones presentadas en esta tabla son parte de las formulaciones realizadas en este proyecto, se presenta el resultado de la viga hecha con la formulación FCR y FFR. Además, se presentan cuatro formulaciones más, las cuales no fueron realizadas en este proyecto, sino en el proyecto de investigación de (Mardama Nayagom, 2019), se ensayaron en este proyecto solo para tener un punto de comparación.

Le tableau 24, montre le résultat du test de flexion quatre points effectué sur des prismes en bio-béton de balle de riz. Les deux premières formulations présentées dans ce tableau font partie des formulations faites dans ce projet, les résultats du faisceau réalisés avec la formulation FCR et FFR sont présenté, en plus quatre autres formulations sont présentées, du projet de recherche de (Mardama Nayagom, 2019), a été testé dans ce projet juste pour avoir un point de comparaison.



**Tabla 24.**

**Resumen de la información obtenida del ensayo de flexión en 4 puntos sobre prismas de concreto la fibra de cáscara de arroz.**

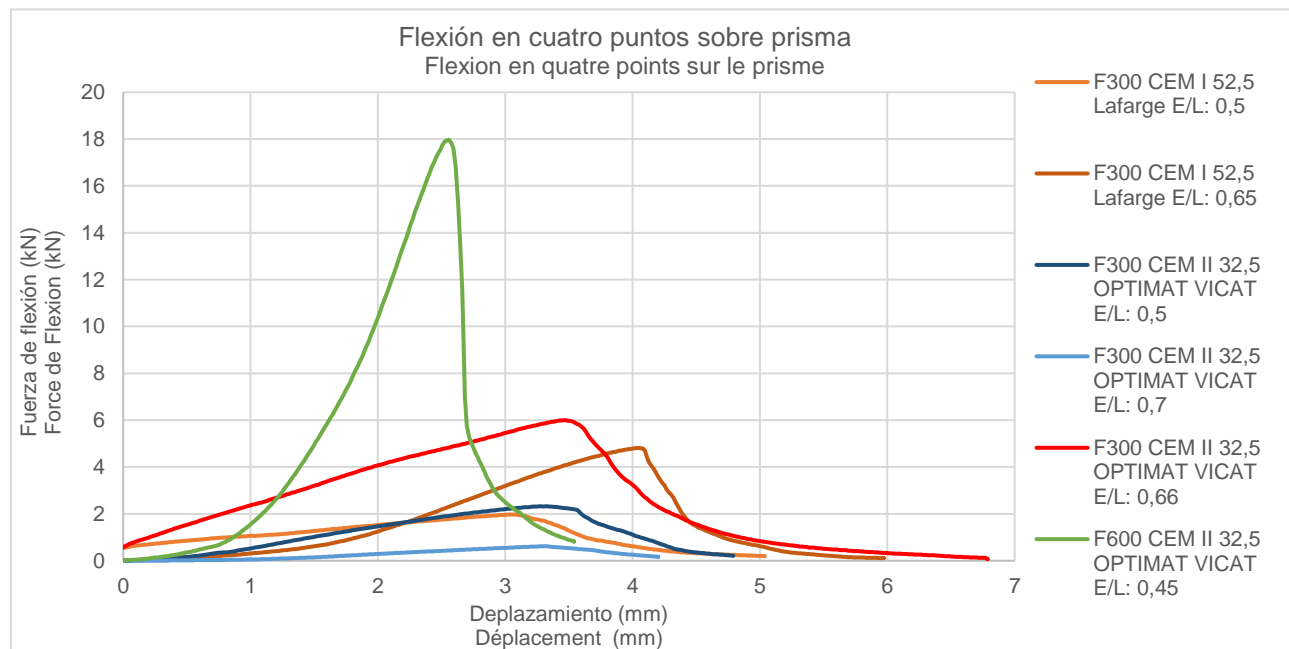
Tableau 24.

Résumé des informations obtenues à partir du test de flexion en 4 points sur des prismes en béton avec fibre de balle de riz.

Formulación Formulation	A/L Eau/Liant	Edad del prisma (días) Âge du prisme (jours)	$\rho$ antes de ensayo $\rho$ avant essai (kg/m <sup>3</sup> )	Fuerza máx. Force max. (kN)	Resistencia a la flexión $F_{ct}$ máx. Résistance à la flexion $F_{ct}$ max. (MPa)	Desplazamiento para $F_{ct}$ máx. Déplacement pour $F_{ct}$ max. (mm)
FCR F600 CEM II 32,5 OPTIMAT VICAT	0,45	70	1 509	17,97	2,75	2,56
FFR F300 CEM II 32,5 OPTIMAT VICAT	0,66	54	855	6,00	0,75	3,47
F300 CEM II 32,5 OPTIMAT VICAT	0,50	228	783	2,32	0,37	3,28
F300 CEM II 32,5 OPTIMAT VICAT	0,70	228	847	4,01	0,62	3,32
F300 CEM I 52,5 Lafarge	0,50	194	742	1,98	0,31	3,04
F300 CEM I 52,5 Lafarge	0,65	212	875	4,82	0,77	4,05

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 129.** Curvas de fuerza de flexión vs desplazamiento sobre una viga de bio-concreto sobre dos apoyos simples y dos puntos de aplicación de fuerza.

**Figure 129.** Courbes de force de flexion vs déplacement sur une poutre en bio-béton sur deux supports simples et deux points d'application de force.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

## Resistencia a la compresión sobre bloques de bio-concreto

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de compresión sobre bloques de 15x20x40 cm (ancho, alto, largo) elaborados con las formulaciones escogidas (FCR y FFR).

El objetivo principal de los bloques es que cumplan con las resistencias de las normas vigentes para bloques no estructurales de los países de interés, para el caso de Costa Rica la Norma INTE C89-2017 y el Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo para el caso de Francia.

Los resultados del ensayo para los bloques de la formulación escogida para Costa Rica (FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45) se presentan en forma de tabla a continuación, la edad de los bloques de esta formulación era de 78 días al día del ensayo. Se aplica el factor de corrección por forma, propuesto por la norma ASTM C1314, a resistencia a la compresión.

## Résistance à la compression sur blocs de bio-béton

Les résultats du test de compression sur des blocs de 15x20x40 cm (largeur, hauteur, longueur) réalisés avec les formulations choisies (FCR et FFR) sont présentés ci-dessous.

L'objectif principal des blocs est qu'ils respectent la résistance des normes actuelles pour les blocs non structuraux des pays d'intérêt, dans le cas du Costa Rica, la norme INTE C89-2017 et le protocole de test pour la mesure de la performance de seuil de Béton de chanvre pour le cas de la France.

Les résultats de l'essai pour les blocs de la formulation choisie pour le Costa Rica (FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45) sont présentés sous forme de tableau ci-dessous, l'âge des blocs de cette formulation était de 78 jours le jour de l'essai. Le facteur de correction de forme, proposé par ASTM C1314, est appliqué à la résistance à la compression.

**Tabla 25.**

**Resumen de la información obtenida del ensayo de compresión sobre bloques de bio-concreto (FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45).**

Tableau 25.

Résumé des informations obtenues à partir de l'essai de compression sur des blocs de bio-béton (FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45).

Bloque Bloc	pae (kg/m <sup>3</sup> ) antes del ensayo avant essai	Fuerza máx. Force max. (kN)	Resistencia a la compresión máx. real $\sigma_{Rmax}$ (MPa)	78 días (jours)		Resistencia a la compresión corregida Résistance à la compression corrigée $\sigma_{Cmax}$ (MPa)
				$\epsilon$ para el $\sigma_{Rmax}$ $\epsilon$ pour le $\sigma_{Rmax}$	$h_p/t_p$ ASTM C1314	
B1	1546	594,6	9,9	0,0463	0,75	7,4
B2	1535	648,3	10,8	0,0397		8,1
B3	1542	623,8	10,4	0,0456		7,8
Promedio moyenne	1541	622,2	10,4	0,0438		7,8

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 130.** Bloques 1, 2 y 3 de la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 antes del ensayo de compresión.

**Figure 130.** Blocs 1, 2 et 3 de la formulation FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 avant l'essai de compression.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

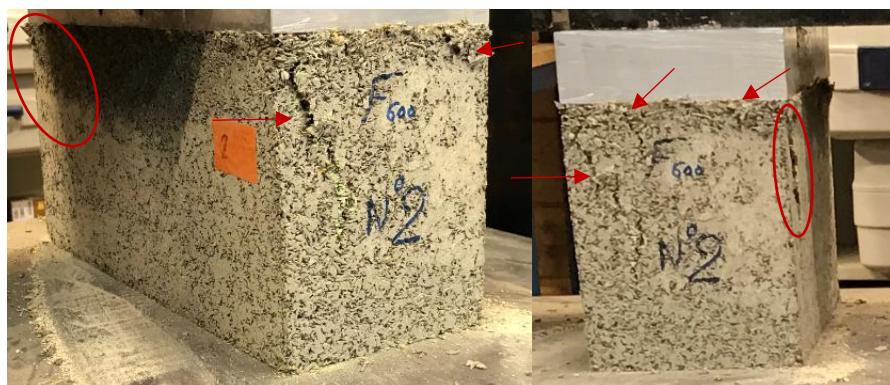


**Figura 131.** Bloque 1 de la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 después del ensayo de compresión y las grietas visibles por la falla del espécimen.

**Figure 131.** Bloc 1 de la formulation FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 après l'essai de compression et les fissures visibles par la rupture du spécimen.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

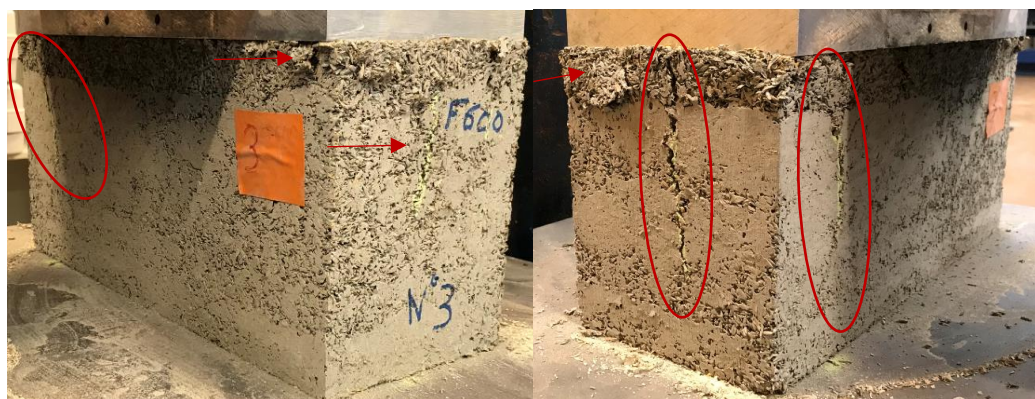


**Figura 132.** Bloque 2 de la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 después del ensayo de compresión y las grietas visibles por la falla del espécimen.

**Figure 132.** Bloc 2 de la formulation FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 après l'essai de compression et les fissures visibles par la rupture du spécimen.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 133.** Bloque 3 de la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 después del ensayo de compresión y las grietas visibles por la falla del espécimen.

**Figure 133.** Bloc 3 de la formulation FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 après l'essai de compression et les fissures visibles par la rupture du spécimen.

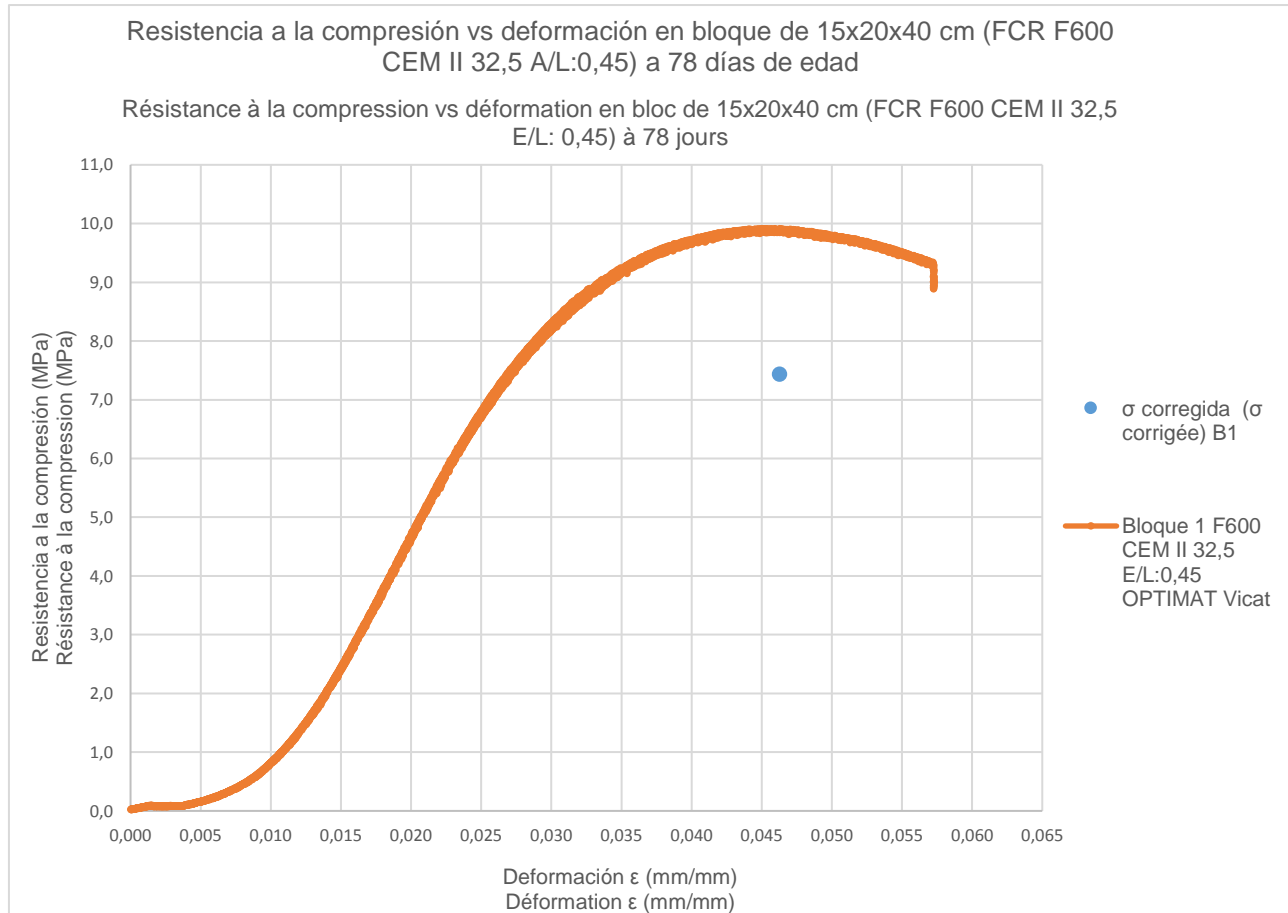
Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



A continuación, se muestra las curvas de resistencia a la compresión en función de la deformación para cada bloque ensayado de la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45. Se presenta, además, el punto de resistencia a la compresión máxima corregido con el factor de forma propuesto por la norma ASTM C1314.

Ce qui suit, montre les courbes de résistance à la compression en fonction de la déformation pour chaque bloc testé dans la formulation FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45. De plus, est présenté le point de résistance à la compression maximale corrigée avec le facteur de forme proposé par ASTM C1314.

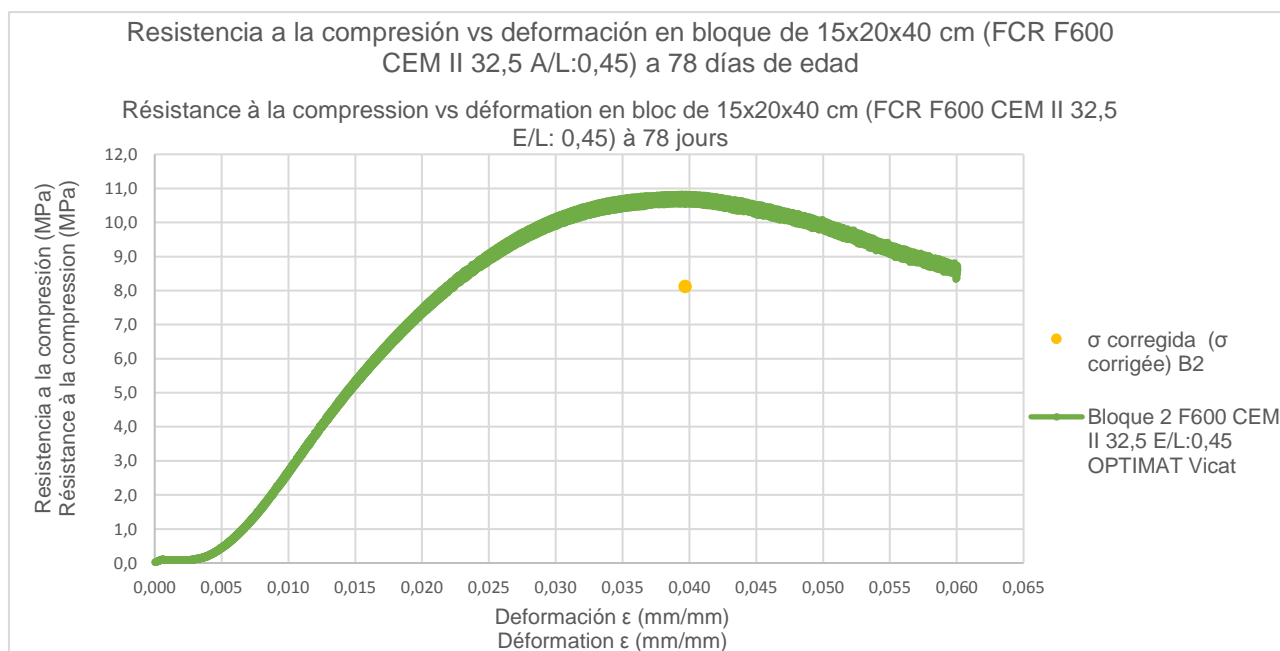


**Figura 134.** Curva de resistencia a la compresión en función de la deformación del bloque 1 FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 ensayado más punto de la resistencia a la compresión máxima corregida con factor de corrección de resistencia de la norma ASMT C1314.

**Figure 134.** Courbe de résistance à la compression en fonction de la déformation du bloc 1 FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 testé plus le point de la résistance à la compression maximale corrigée avec le facteur de correction de résistance de la norme ASMT C1314.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

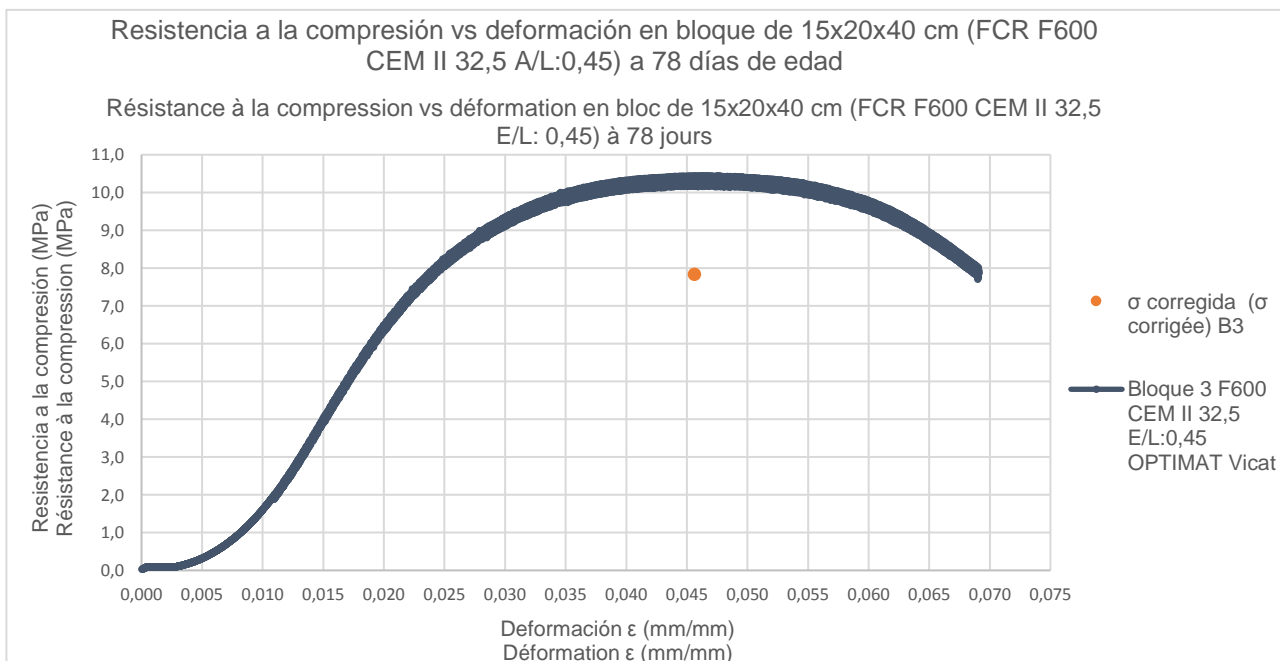


**Figura 135.** Curva de resistencia a la compresión en función de la deformación del bloque 2 FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 ensayado más punto de la resistencia a la compresión máxima corregida con factor de corrección de resistencia de la norma ASMT C1314.

**Figure 135.** Courbe de résistance à la compression en fonction de la déformation du bloc 2 FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 testé plus le point de la résistance à la compression maximale corrigé avec le facteur de correction de résistance de la norme ASMT C1314.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

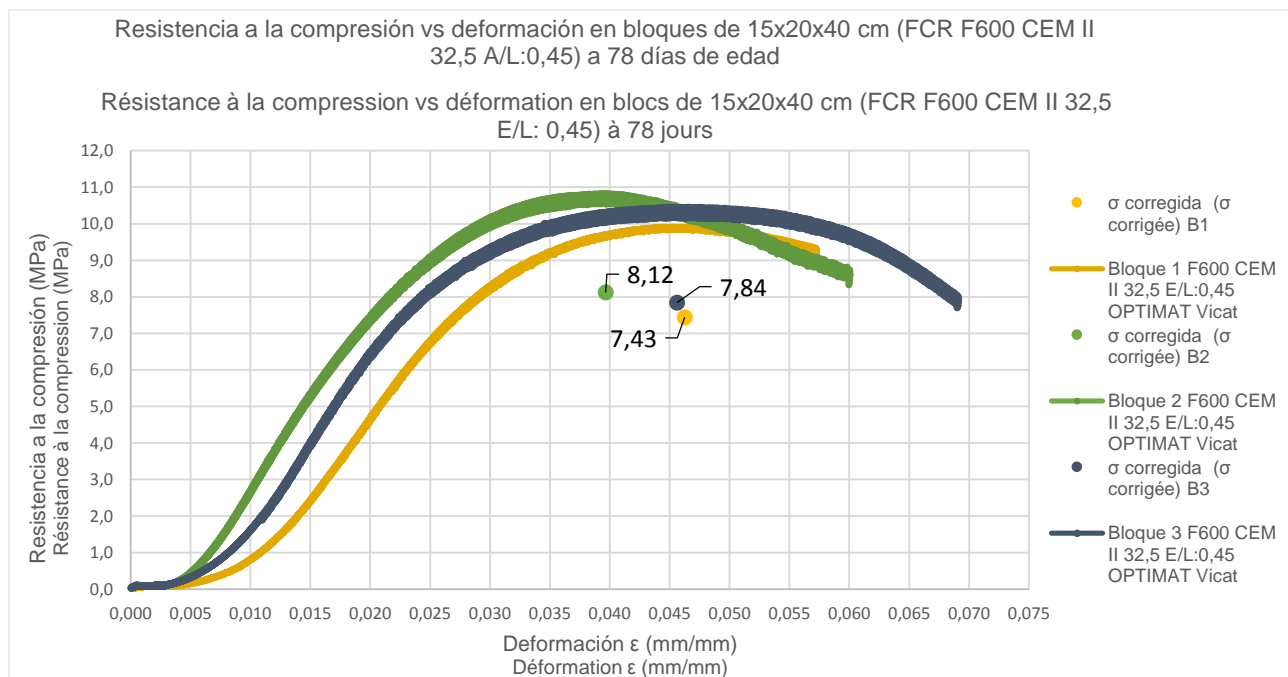


**Figura 136.** Curva de resistencia a la compresión en función de la deformación del bloque 3 FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 ensayado más punto de la resistencia a la compresión máxima corregida con factor de corrección de resistencia de la norma ASMT C1314.

**Figure 136.** Courbe de résistance à la compression en fonction de la déformation du bloc 3 FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 testé plus le point de la résistance à la compression maximale corrigé avec le facteur de correction de résistance de la norme ASMT C1314 .

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 137.** Curvas de resistencia a la compresión en función de la formación de bloques FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 ensayados más punto de la resistencia a la compresión máxima corregida con factor de corrección de resistencia de la norma ASMT C1314.

**Figure 137.** Courbe de résistance à la compression en fonction de la déformation des blocs FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 testés plus le point de la résistance à la compression maximale corrigé avec le facteur de correction de résistance de la norme ASMT C1314.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

Los resultados del ensayo para los bloques de la formulación escogida para Francia (FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66) se presentan en forma de tabla a continuación, la edad de los bloques de esta formulación era de 55 días al día del ensayo.

Les résultats de l'essai pour les blocs de la formulation choisie pour la France (FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66) sont présentés sous forme de tableau ci-dessous, l'âge des blocs de cette formulation était de 55 jours le jour de l'essai.

**Tabla 26.**

**Resumen de la información obtenida del ensayo de compresión sobre bloques de bio-concreto (FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66).**

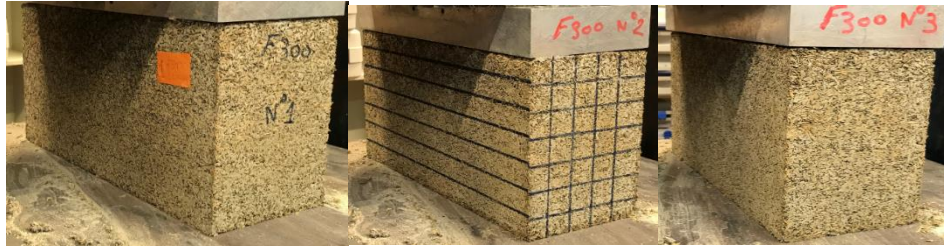
Tableau 26.

Résumé des informations obtenues à partir de l'essai de compression sur des blocs de bio-béton (FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66).

55 días (jours)						
Bloque Bloc	$\rho_{ae}$ (kg/m <sup>3</sup> ) antes del ensayo avant essai	Fuerza máx. Force max. (kN)	Resistencia a la compresión máx. real $\sigma_{Rmax}$ (MPa)	$\epsilon$ para el $\sigma_{Rmax}$ $\epsilon$ pour le $\sigma_{Rmax}$	$h_p/t_p$ ASTM C1314	Resistencia a la compresión corregida Résistance à la compression corrigée $\sigma_{Cmax}$ (MPa)
B1	976	109,5	1,8	0,1054	0,75	1,4
B2	994	128,7	2,0	0,1029		1,5
B3	1026	92,3	2,0	0,1033		1,5
Promedio moyenne	999	110,2	2,0	0,1039		1,5

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 138.** Bloques 1, 2 y 3 de la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 antes del ensayo de compresión.

**Figure 138.** Blocs 1, 2 et 3 de la formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66 avant l'essai de compression.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 139.** Bloque 1 de la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 después del ensayo de compresión y las grietas visibles por la falla del espécimen.

**Figure 139.** Bloc 1 de la formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66 après l'essai de compression et les fissures visibles par la rupture de le spécimen.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 140.** Bloque 2 de la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 después del ensayo de compresión y las grietas visibles por la falla del espécimen.

**Figure 140.** Bloc 2 de la formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66 après l'essai de compression et les fissures visibles par la rupture de le spécimen.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

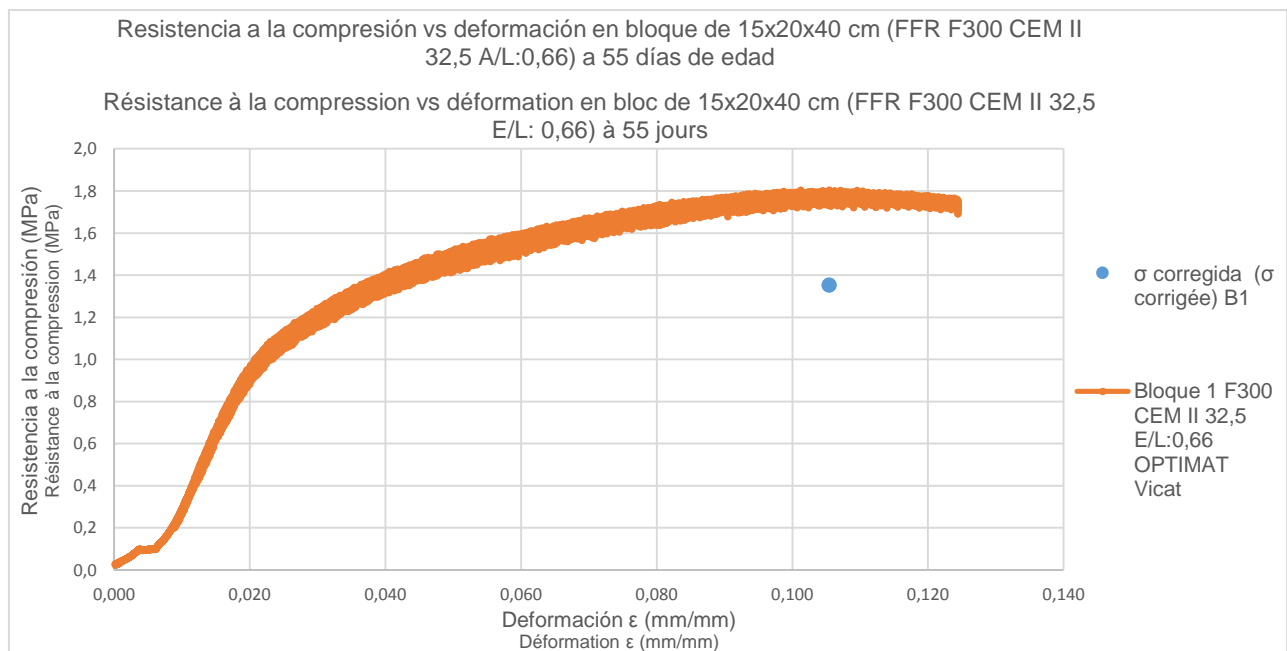


**Figura 141.** Bloque 3 de la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 después del ensayo de compresión y las grietas visibles por la falla del espécimen.

**Figure 141.** Bloc 3 de la formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66 après l'essai de compression et les fissures visibles par la rupture de le spécimen.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

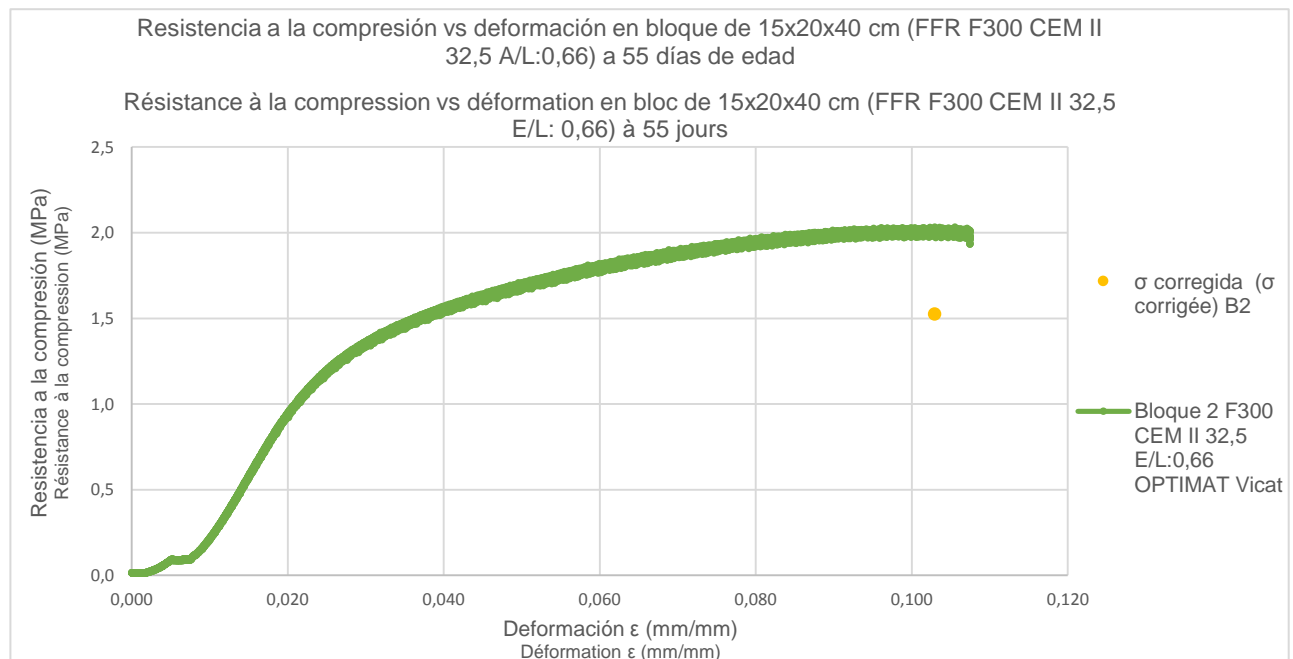


**Figura 142.** Curva de resistencia a la compresión en función de la deformación del bloque 1 FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 ensayado más punto de la resistencia a la compresión máxima corregida con factor de corrección de resistencia de la norma ASMT C1314.

**Figure 142.** Courbe de résistance à la compression en fonction de la déformation du bloc 1 FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,66 testé plus le point de la résistance à la compression maximale corrigé avec le facteur de correction de résistance de la norme ASMT C1314 .

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



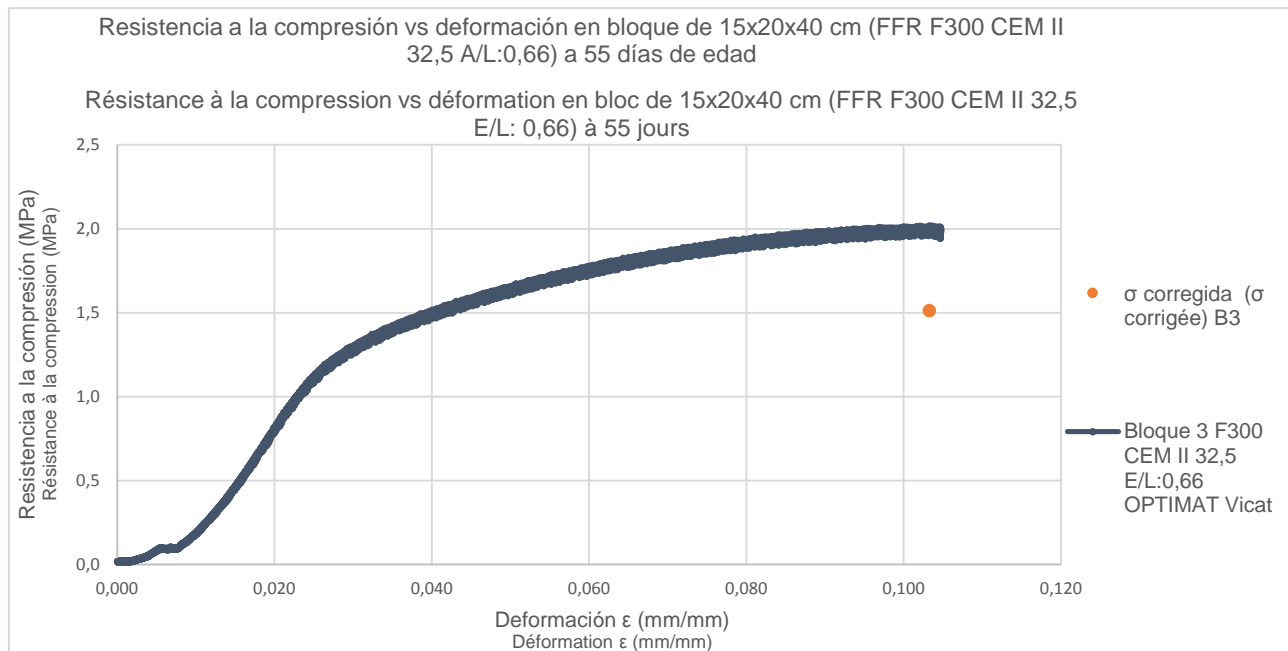
**Figura 143.** Curva de resistencia a la compresión en función de la deformación del bloque 2 FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 ensayado más punto de la resistencia a la compresión máxima corregida con factor de corrección de resistencia de la norma ASMT C1314.

**Figure 143.** Courbe de résistance à la compression en fonction de la déformation du bloc 2 FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,66 testé plus le point de la résistance à la compression maximale corrigé avec le facteur de correction de résistance de la norme ASMT C1314.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



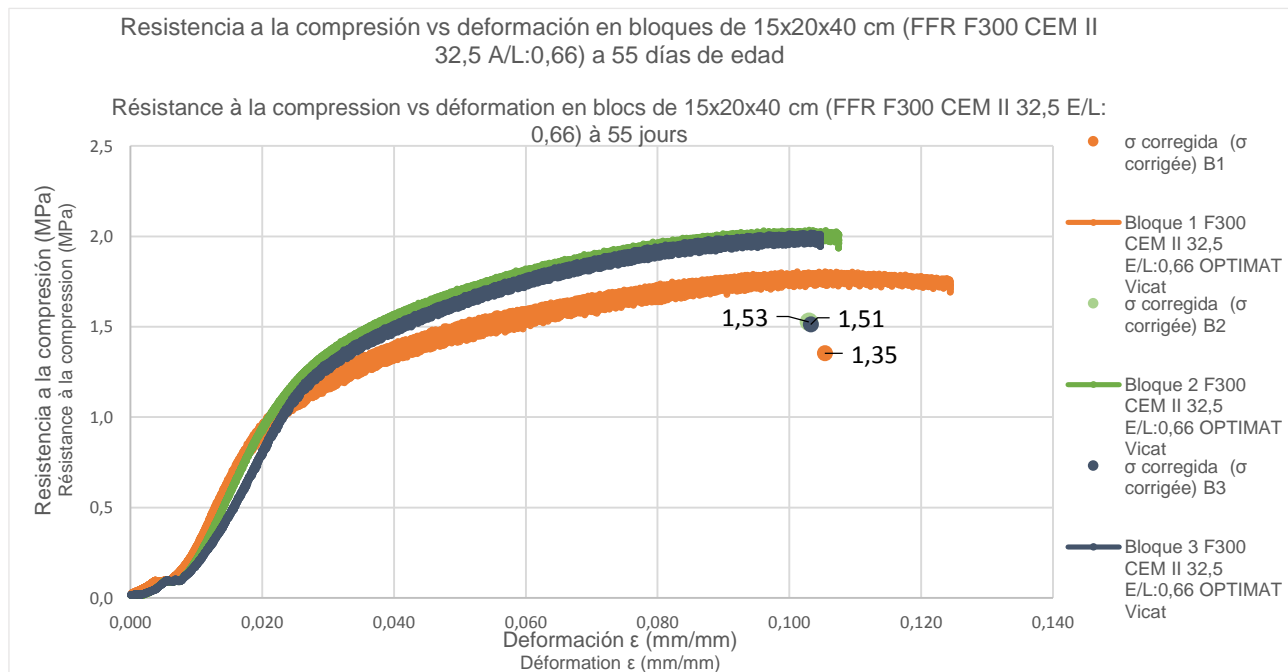


**Figura 144.** Curva de resistencia a la compresión en función de la deformación del bloque 3 FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 ensayado más punto de la resistencia a la compresión máxima corregida con factor de corrección de resistencia de la norma ASMT C1314.

**Figure 144.** Courbe de résistance à la compression en fonction de la déformation du bloc 3 FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,66 testé plus le point de la résistance à la compression maximale corrigé avec le facteur de correction de résistance de la norme ASMT C1314 .

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 145.** Curvas de resistencia a la compresión en función de la formación de bloques FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 ensayados más punto de la resistencia a la compresión máxima corregida con factor de corrección de resistencia de la norma ASMT C1314.

**Figure 145.** Courbe de résistance à la compression en fonction de la déformation des blocs FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 testés plus le point de la résistance à la compression maximale corrigé avec le facteur de correction de résistance de la norme ASMT C1314 .

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

## Ensayos físicos sobre especímenes de formulaciones FCR y FFR

En este apartado, se presentan los resultados de los ensayos higrotérmicos, realizados sobre diferentes especímenes extraídos de los cilindros elaborados con el bio-concreto.

El fin principal de estos es obtener información del desempeño higrotérmico del material, concreto con fibra de cáscara de arroz (Formulaciones FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 y FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66).

### Características térmicas

## Essais physiques sur des échantillons de formulations FCR et FFR

Dans cette section, les résultats des tests hygrothermiques, effectués sur différents échantillons extraits des cylindres réalisés avec le bio-béton, sont présentés.

Leur objectif principal est d'obtenir des informations sur les performances hygrothermiques du matériau, béton avec fibre de balle de riz (Formulations FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 et FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66).

### Caractéristiques thermiques

Tabla 27.

Resumen de resultados de efusividad de especímenes tomados de los cilindros N7 y N8 de la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

Tableau 27.

Résumé des résultats de la effusivité des spécimens tirés des cylindres N7 et N8 du formulation FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Especímen Spécimen	N° Prueba N. Test	Temperatura del especímen Température de spécimen (°C)	Duración (s) Durée (s)	Fuente (w) Source (w)	Puntos Obtenidos Pts Otés ( %)	$\beta$ (J/(K.m <sup>2</sup> .s <sup>1/2</sup> ))
T1 y T2	1	21,74	60	1,3	5	576
	2	21,76	60	1,5	5	592
	3	22,33	80	1,2	5	576
	4	23,04	70	2,0	5	601
	5	22,24	80	1,5	5	588
<b>Promedio (Moyenne)</b>						<b>587</b>
T3 y T4	1	21,89	80	1,7	5	666
	2	22,09	60	1,7	5	665
	3	22,86	60	1,5	5	693
	4	22,64	70	2,0	5	668
	5	23,25	80	1,8	5	633
<b>Promedio (Moyenne)</b>						<b>665</b>

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

**Tabla 28.**

**Resumen de resultados de conductividad de especímenes tomados de los cilindros N7 y N8 de la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45.**

Tableau 28.

Résumé des résultats de la conductivité des spécimens tirés des cylindres N7 et N8 des formulations FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Especimen Spécimen	N° Prueba N. Test	Temperatura del espécimen Température de spécimen (°C)	Duración (s) Durée (s)	Fuente (w) Source (w)	Puntos Obtenidos Pts Otés ( %)	$\lambda$ (W/(m.K))
T1 y T2	1	21,21	60	0,15	4	0,233
	2	21,50	60	0,16	1	0,253
	3	21,97	80	0,12	4	0,232
	4	21,95	80	0,14	4	0,234
	5	22,20	90	0,12	4	0,246
<b>Promedio (Moyenne)</b>						<b>0,240</b>
T3 y T4	1	21,59	70	0,10	2	0,270
	2	21,80	80	0,14	3	0,276
	3	22,02	90	0,15	3	0,272
	4	22,13	70	0,12	2	0,294
	5	21,54	60	0,12	14	0,275
<b>Promedio (Moyenne)</b>						<b>0,277</b>

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

Notas sobre las tablas 27 y 28:

- Los especímenes T1 y T2 fueron extraídos de un cilindro (número 7) de la formulación FCR tal como se presentó en el diagrama de extracción de muestras de los cilindros en la figura 38 del apartado "Caracterización física de las formulaciones FCR y FFR". Mientras que los especímenes T3 y T4 fueron extraídos del cilindro número 8.
- El ensayo fue realizado a una temperatura ambiente de 20 °C ( $\pm 1$  °C) y humedad relativa de 50 %.
- La altura de los especímenes era de 5 cm y un diámetro de 16 cm.
- Las densidades secas ( $\rho_{seca}$ ) al tiempo del ensayo era de:
  - T1: 1 196 kg/m<sup>3</sup>
  - T2: 1 200 kg/m<sup>3</sup>
  - T3: 1 232 kg/m<sup>3</sup>
  - T4: 1 332 kg/m<sup>3</sup>

Notes sur les tableaux 27 et 28:

- Les spécimens T1 et T2 ont été extraits d'un cylindre (numéro 7) de la formulation FCR tel que présenté dans le diagramme d'extraction des spécimens des cylindres de la figure 38 de la section «Caractérisation physique des formulations FCR et FFR». Alors que les spécimens T3 et T4 ont été extraits du cylindre numéro 8.
- L'essai a été réalisé à une température ambiante de 20 °C ( $\pm 1$  °C) et une humidité relative de 50 %.
- La hauteur des spécimens était de 5 cm et un diamètre de 16 cm.
- Les densités sèches ( $\rho_{sec}$ ) au moment du test étaient:
  - T1: 1 196 kg/m<sup>3</sup>
  - T2: 1 200 kg/m<sup>3</sup>
  - T3: 1 232 kg/m<sup>3</sup>
  - T4: 1 332 kg/m<sup>3</sup>

Mediante las ecuaciones 15 y 16 presentadas en el marco teórico, se calcula la difusividad térmica y capacidad calorífica, tomando el valor promedio de la conductividad y efusividad térmica de los especímenes mostrados en las dos tablas anteriores.

En utilisant les équations 15 et 16 présentées dans le cadre théorique, la diffusivité thermique et la capacité thermique sont calculées, en prenant la valeur moyenne de la conductivité et de l'effusivité thermique des échantillons montrés dans les deux tableaux précédents.

**Tabla 29.**

**Características térmicas de los cilindros N7 y N8 de la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 y datos finales a reportar.**

Tableau 29.

Caractéristiques thermiques des cylindres N7 et N8 de la formulation FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45 et données finales à signaler.

Característica Caractéristique	Cilindro 7 Cylindre 7	Cilindro 8 Cylindre 8	Dato a reportar Donnée à signaler
$\rho_{seca}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1 198	1 282	<b>1 240</b>
$\beta$ (J/(K.m <sup>2</sup> .s <sup>1/2</sup> ))	587	665	<b>626</b>
$\lambda$ (W/(m.K))	0,240	0,277	<b>0,259</b>
Cp (J/(kg.K))	1 198,68	1 243,78	<b>1 221,23</b>
$\alpha$ (mm <sup>2</sup> /s)	1,67x10 <sup>-07</sup>	1,74x10 <sup>-07</sup>	<b>1,71x10<sup>-07</sup></b>
$T_{desfase}^{24H}$ (h)	8,37	8,29	<b>8,35</b>

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

**Notas:**

- $\rho_{seca}$ : densidad seca del espécimen.
- $\beta$ : efusividad térmica.
- $\lambda$ : conductividad térmica.
- Cp: capacidad calorífica.
- $\alpha$ : difusividad térmica.
- $T_{desfase}^{24H}$ : tiempo de desfase térmico en un ciclo de 24 horas.
- Espesor utilizado para el cálculo de  $T_{desfase}^{24H}$  es de 0,15 m

**Notes:**

- $\rho_{sec}$ : densité sèche de spécimen.
- $\beta$ : effusivité thermique.
- $\lambda$ : conductivité thermique.
- Cp: capacité calorifique.
- $\alpha$ : diffusivité thermique.
- $T_{desfase}^{24H}$ : temps de déphasage thermique dans un cycle de 24 heures.
- L'épaisseur utilisée pour le calcul de  $T_{desfase}^{24H}$  est de 0,15 m

A continuación, se muestran los resultados para la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66.

Les résultats, pour FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66 sont présentés ci-dessous.

**Tabla 30.**

**Resumen de resultados de efusividad de espécimen tomados de los cilindros N7 y N8 de la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66.**

Tableau 30.

Résumé des résultats de la effusivité des spécimens tirés des cylindres N7 et N8 du formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66.

Espécimen Spécimen	N° Prueba N. Test	Temperatura del espécimen Température de spécimen (°C)	Duración (s) Durée (s)	Fuente (w) Source (w)	Puntos Obtenidos Pts Otés (%)	$\beta$ (J/(K.m <sup>2</sup> .s <sup>1/2</sup> ))
T1 y T2	1	20,35	60	0,9	8	300
	2	21,33	80	1,3	8	302
	3	22,02	90	1,8	7	308
	4	22,05	60	2,0	5	322
	5	23,40	90	1,6	5	323
<b>Promedio (Moyenne)</b>						<b>311</b>
T3 y T4	1	22,40	60	2,0	5	313
	2	22,40	90	2,0	5	327
	3	23,90	80	1,7	8	346
	4	23,25	60	1,5	5	355
	5	21,30	70	1,5	7	324
<b>Promedio (Moyenne)</b>						<b>333</b>

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

**Tabla 31.**

**Resumen de resultados de conductividad de espécimen tomados de los cilindros N7 y N8 de la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66.**

Tableau 31.

Résumé des résultats de la conductivité des spécimens tirés des cylindres N7 et N8 du formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66.

Espécimen Spécimen	N° Prueba N. Test	Temperatura del espécimen Température de spécimen (°C)	Duración (s) Durée (s)	Fuente (w) Source (w)	Puntos Obtenidos Pts Otés (%)	$\lambda$ (W/(m.K))
T1 y T2	1	21,70	90	0,14	10	0,121
	2	21,97	80	0,12	5	0,124
	3	22,08	70	0,12	7	0,125
	4	22,20	70	0,14	9	0,123
	5	22,28	70	0,13	11	0,125
<b>Promedio (Moyenne)</b>						<b>0,124</b>
T3 y T4	1	22,26	80	0,10	1	0,129
	2	22,19	70	0,12	5	0,126
	3	22,45	60	0,14	5	0,122
	4	22,64	70	0,10	12	0,124
	5	22,02	80	0,15	14	0,122
<b>Promedio (Moyenne)</b>						<b>0,125</b>

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

Notas sobre las tablas 30 y 31:

- Los especímenes T1 y T2 fueron extraídos de un cilindro (número 8) de la formulación FFR tal como se presentó en el diagrama de extracción de muestras de los cilindros en la figura 38 del apartado “Caracterización física de las formulaciones FCR y FFR”. Mientras que los especímenes T3 y T4 fueron extraídos del cilindro número 7.
- El ensayo fue realizado a una temperatura ambiente de 21 °C ( $\pm 1$  °C) y humedad relativa de 50 %.
- La altura de los especímenes era de 5 cm y un diámetro de 16 cm.
- Las densidades secas ( $\rho_{seca}$ ) al tiempo del ensayo era de:
  - T1: 689 kg/m<sup>3</sup>
  - T2: 688 kg/m<sup>3</sup>
  - T3: 685 kg/m<sup>3</sup>
  - T4: 696 kg/m<sup>3</sup>

A continuación, se presentan las características térmicas para la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66. Igualmente, se ha utilizado las ecuaciones 15 y 16 presentadas en el marco teórico para obtener los valores de la capacidad calorífica y difusividad térmica.

Notes sur les tableaux 30 et 31:

- Les spécimens T1 et T2 ont été extraits d'un cylindre (numéro 8) de la formulation FFR tel que présenté dans le diagramme d'extraction des spécimens des cylindres de la figure 38 de la section «Caractérisation physique des formulations FCR et FFR». Alors que les spécimens T3 et T4 ont été extraits du cylindre numéro 7.
- L'essai a été réalisé à une température ambiante de 21 °C ( $\pm 1$  °C) et une humidité relative de 50 %.
- La hauteur des spécimens était de 5 cm et un diamètre de 16 cm.
- Les densités sèches ( $\rho_{sec}$ ) au moment du test étaient:
  - T1: 689 kg/m<sup>3</sup>
  - T2: 688 kg/m<sup>3</sup>
  - T3: 685 kg/m<sup>3</sup>
  - T4: 696 kg/m<sup>3</sup>

Les caractéristiques thermiques de la formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66 sont présentées ci-dessous. De même, les équations 15 et 16 présentées dans le cadre théorique ont été utilisées pour obtenir les valeurs de capacité thermique et de diffusivité thermique.

**Tabla 32.**

**Características térmicas de los cilindros N7 y N8 de la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 y datos finales a reportar.**

Tableau 32.

Caractéristiques thermiques des cylindres N7 et N8 de la formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66 et données finales à signaler.

Característica Caractéristique	Cilindro 7 Cylindre 7	Cilindro 8 Cylindre 8	Dato a reportar Donnée à signaler
$\rho_{seca}$ (kg/m <sup>3</sup> )	689	691	<b>690</b>
$\beta$ (J/(K.m <sup>2</sup> .s <sup>1/2</sup> ))	311	333	<b>322</b>
$\lambda$ (W/(m.K))	0,124	0,125	<b>0,125</b>
Cp (J/(kg.K))	1 137,13	1 288,96	<b>1 213,05</b>
$\alpha$ (mm <sup>2</sup> /s)	1,58x10 <sup>-07</sup>	1,40x10 <sup>-07</sup>	<b>1,49x10<sup>-07</sup></b>
$T_{desfase}^{24H}$ (h)	8,68	9,22	<b>8,94</b>

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

Notas :

- $\rho_{seca}$ : densidad seca del espécimen.
- $\beta$ : efusividad térmica.
- $\lambda$ : conductividad térmica.
- Cp: capacidad calorífica.

Notes :

- $\rho_{sec}$ : densité sèche de spécimen.
- $\beta$ : effusivité thermique.
- $\lambda$ : conductivité thermique.
- Cp: capacité calorifique.

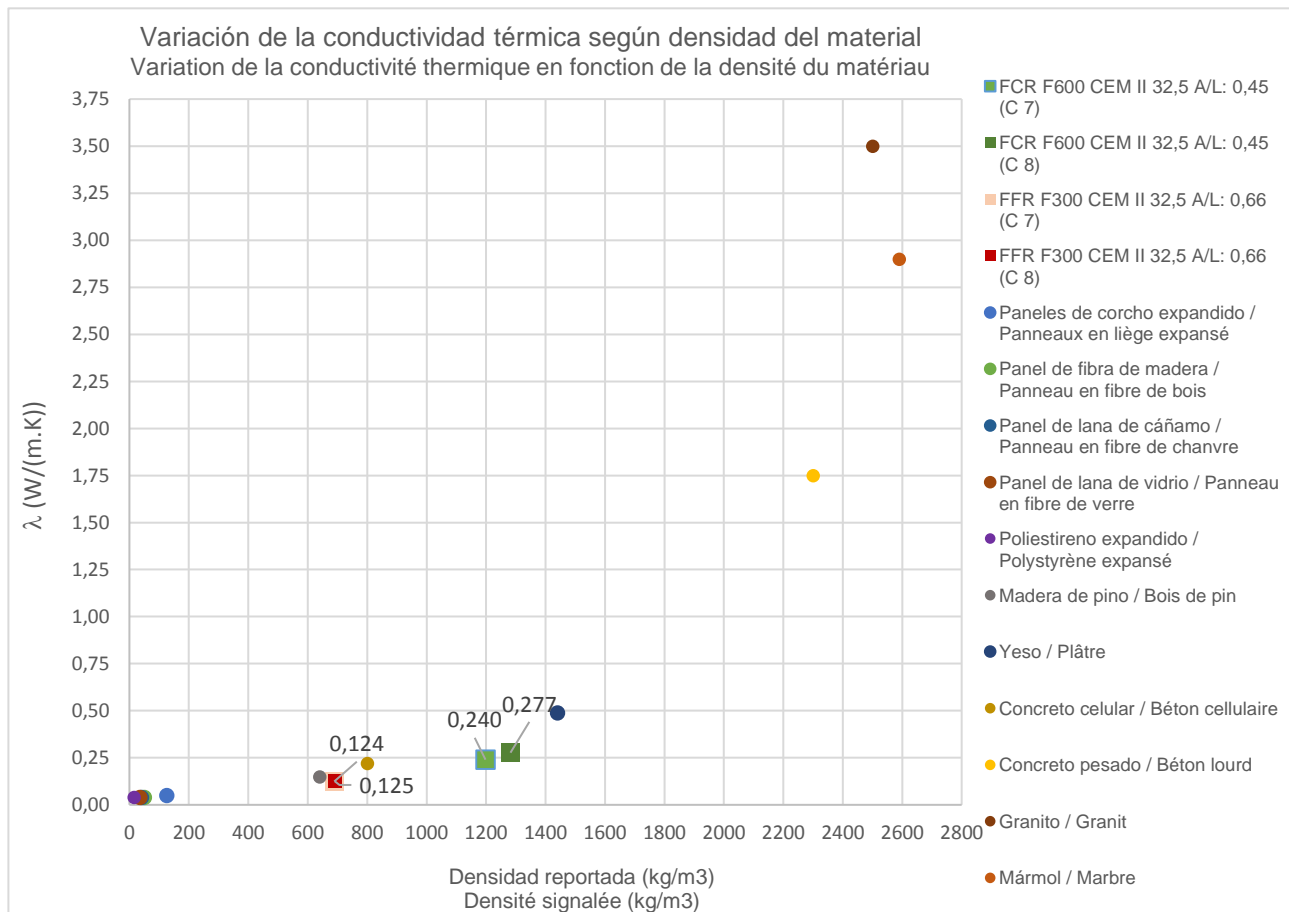
- $\alpha$ : difusividad térmica.
- $T_{desfase}^{24H}$ : tiempo de desfase térmico en un ciclo de 24 horas.
- Espesor utilizado para el cálculo de  $T_{desfase}^{24H}$  es de 0,15 m

A continuación, se presenta de manera gráfica la comparación de los resultados obtenidos del valor de la conductividad y efusividad térmica obtenida para las formulaciones estudiadas (FCR y FFR). La comparación es realizada con respecto a otros materiales constructivos, de los cuales se mostraron las características térmicas en la tabla 5 del marco teórico.

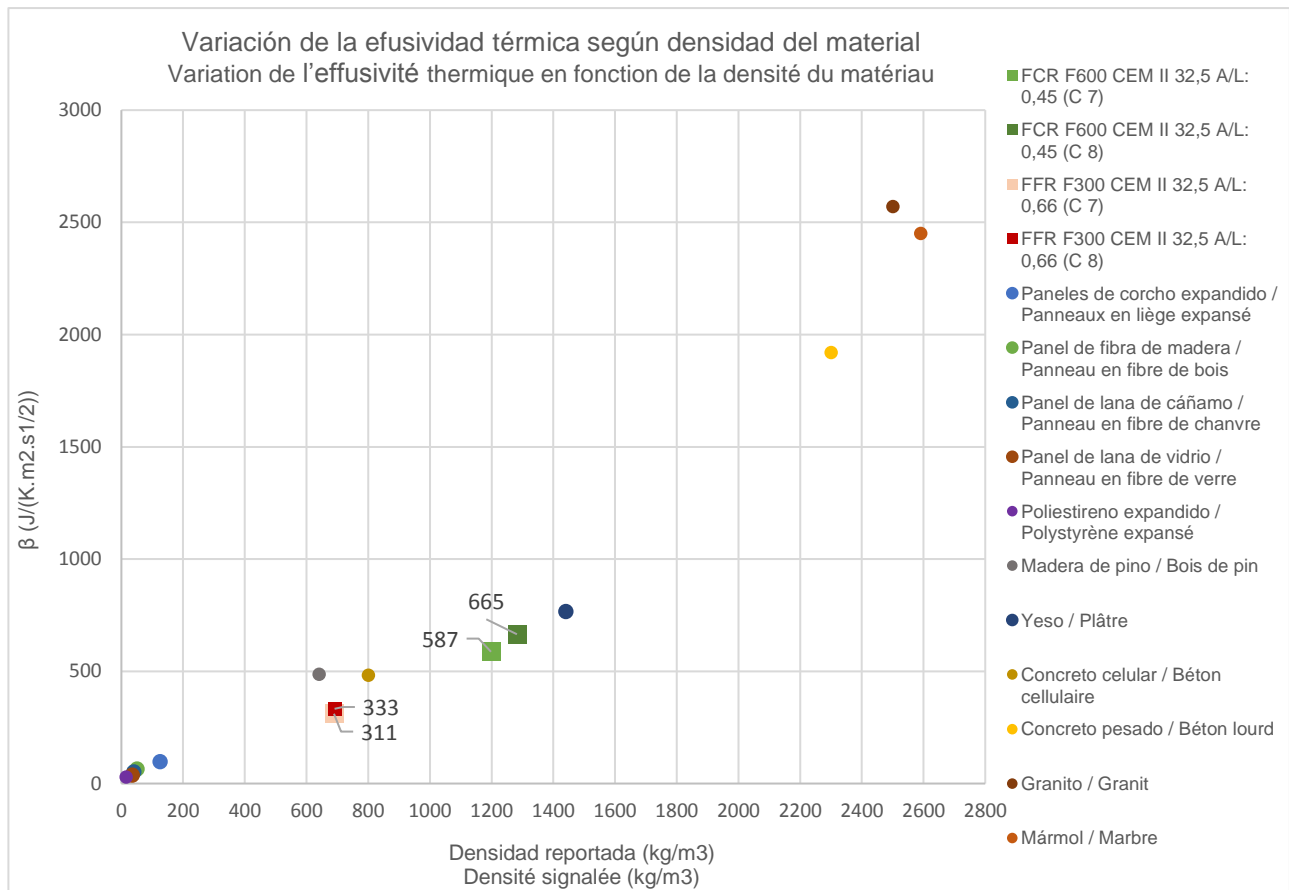
$\alpha$ : diffusivité thermique.

- $T_{desfase}^{24H}$ : temps de déphasage thermique dans un cycle de 24 heures.
- L'épaisseur utilisée pour le calcul de  $T_{desfase}^{24H}$  est de 0,15 m

Ci-dessous, une comparaison graphique des résultats obtenus à partir de la valeur de la conductivité et de l'effusivité thermique obtenues pour les formulations étudiées (FCR et FFR). La comparaison est faite par rapport à d'autres matériaux de construction dont les caractéristiques thermiques sont présentées dans le tableau 5 du cadre théorique.



**Figura 146.** Variación del valor de la conductividad térmica respecto a la densidad del material para diferentes materiales constructivos.  
**Figure 146.** Variation de la valeur de conductivité thermique en fonction à la densité du matériau pour différents matériaux de construction.  
Fuente. Elaboración propia. Source Élaboration propre.



**Figura 147.** Variación del valor de la efusividad térmica respecto a la densidad del material para diferentes materiales constructivos.

**Figure 147.** Variation de la valeur de l'effusivité thermique en fonction à la densité du matériau pour différents matériaux de construction.  
Fuente. Elaboración propia. Source Élaboration propre.

## Ensayo de amortiguación de agua (Moisture Buffer Value)

En este apartado, se muestran los resultados del ensayo de MBV por sus siglas en inglés, en donde se valora la capacidad en la fase de sorción y desorción del material en estudio, mediante la ecuación 13 presentada en el marco teórico se calcula el valor de MBV para cada fase y ciclo estabilizado.

## Essai de capacité tampon hydrique (Moisture Buffer Value)

Cette section présente les résultats du test MBV pour son acronyme en anglais, où la capacité en phase de sorption et de désorption du matériau à l'étude est évaluée, en utilisant l'équation 13 présentée dans le cadre théorique, la valeur MBV est calculée pour chaque phase et cycle stabilisé.



**Tabla 33.**  
**Valor de MBV para la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45.**

Tableau 33.

Valeur MBV pour la formulation FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Ciclo	Fase	$\Delta$ masa	Área expuesta	Humedad relativa Humidité relative ( %)		MBV	
Cycle	Phase	$\Delta$ masse (g)	Surface exposée (m <sup>2</sup> )	Alta	Baja	(g/(m <sup>2</sup> . %HR))	
27	Absorción/Absorption	1,38	0,02	75	33	1,63	1,75
	Desorción/Désorption	-1,58				1,87	
28	Absorción/Absorption	1,53				1,81	1,89
	Desorción/Désorption	-1,67				1,98	
29	Absorción/Absorption	1,36				1,61	1,76
	Desorción/Désorption	-1,62				1,92	

Fuente. Elaboración propia.

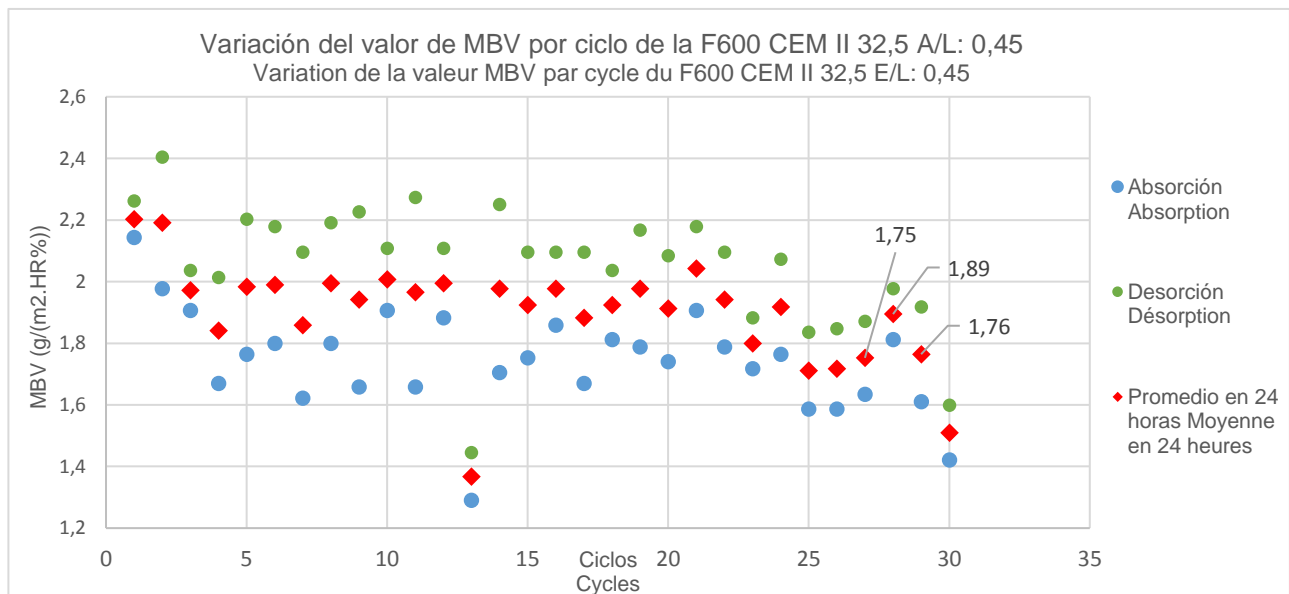
Source Élaboration propre.

**Tabla 34.**  
**Valor de MBV para la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66.**

Tableau 34.

Valeur MBV pour la formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66.

Ciclo	Fase	$\Delta$ masa	Área expuesta	Humedad relativa Humidité relative ( %)		MBV	
Cycle	Phase	$\Delta$ masse (g)	Surface exposée (m <sup>2</sup> )	Alta	Baja	(g/(m <sup>2</sup> . %HR))	
47	Absorción/Absorption	1,67	0,02	75	33	1,98	1,88
	Desorción/Désorption	-1,51				1,79	
48	Absorción/Absorption	1,66				1,97	1,84
	Desorción/Désorption	-1,44				1,71	
49	Absorción/Absorption	1,60				1,89	1,84
	Desorción/Désorption	-1,51				1,79	

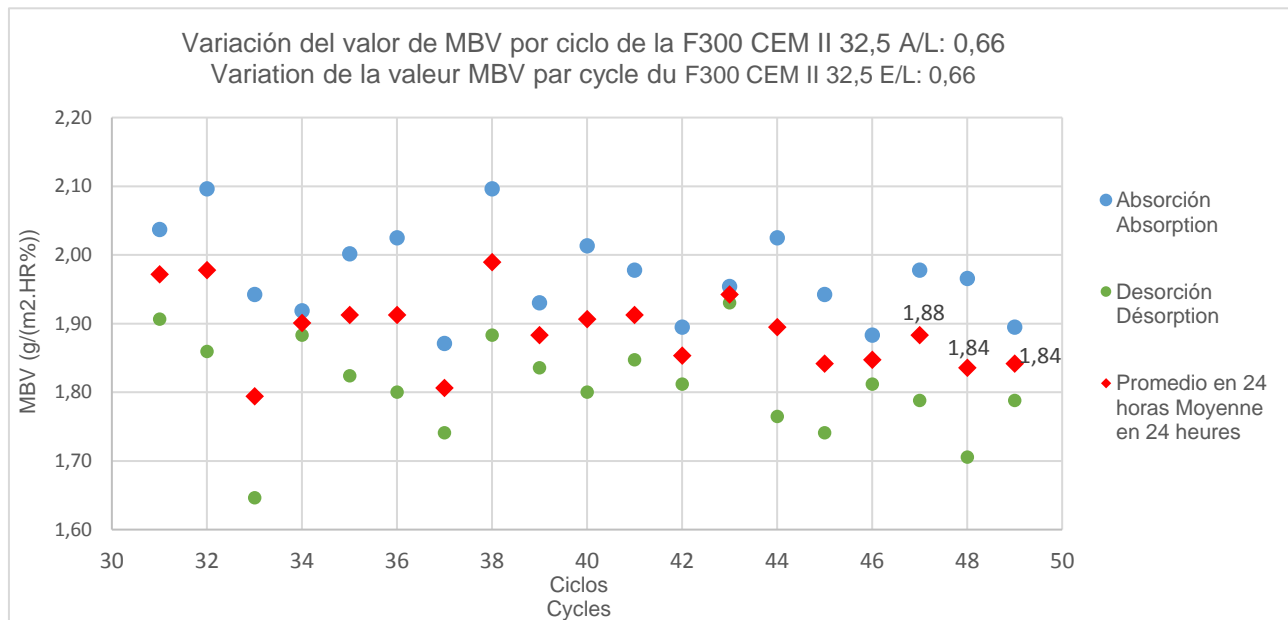


**Figura 148.** Valores de MBV para los ciclos estudiados en espécimen de formulación F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

**Figure 148.** Valeurs MBV pour les cycles étudiés dans le spécimen de formulation F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

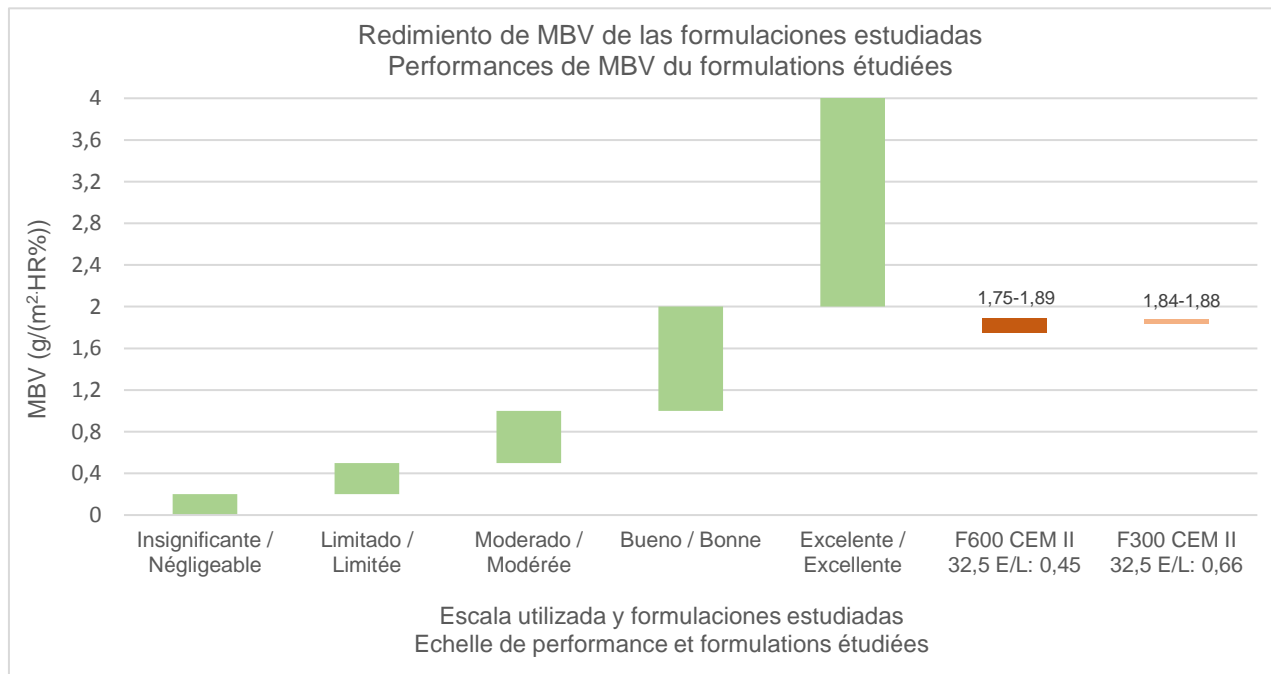


**Figura 149.** Valores de MBV para los ciclos estudiados en espécimen de formulación F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66.

**Figure 149.** Valeurs MBV pour les cycles étudiés dans le spécimen de formulation F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

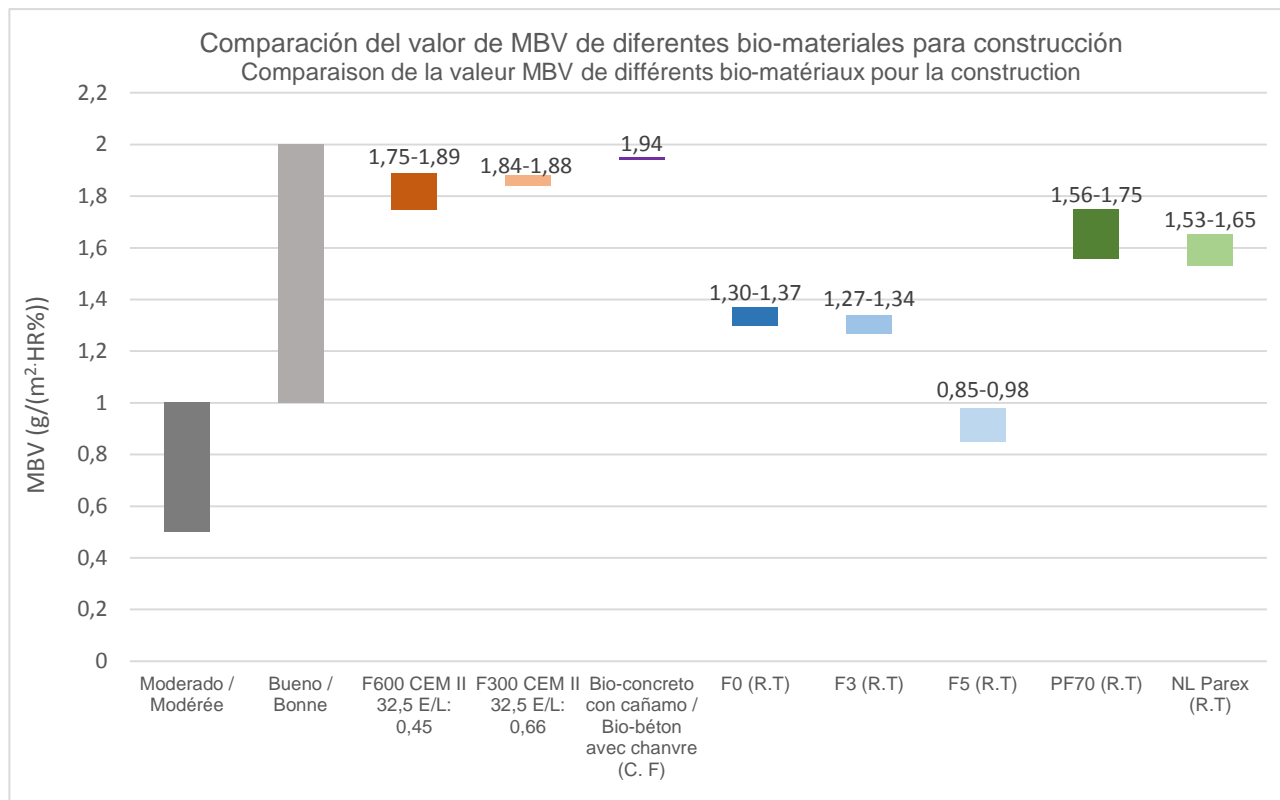


**Figura 150.** Rendimiento en MBV de los bio-concretos en estudio según escala de NORDTEST.

**Figure 150.** Performance en MBV des bio-bétons à l'étude selon l'échelle NORDTEST.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 160.** Comparación de los resultados de MBV de diferentes bio-materiales para construcción.

**Figure 160.** Comparaison des résultats MBV de différents bio-matériaux pour la construction.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

Notas sobre la figura 160:

- En esta figura se comparan diferentes materiales que incluyen fibras naturales o bien son elaborados con cales, elaborados en tres diferentes investigaciones, con el fin de comparar los rendimientos del valor de MBV, según la escala NORDTEST.
- Las formulaciones FCR y FFR son presentadas en el gráfico como F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 y F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 respectivamente.
- El valor de la MBV del bio-concreto con cáñamo es tomado de la investigación de (Collet F, Prétot S, Lanos C., 2013).
- Las formulaciones F0 (R.T), F3 (R.T) y F5 (R.T), son las siguientes cales Caolinita, Ascal 10 arcilla calcaría, Enduit C mortero comercial, respectivamente. Estudiadas en diferentes espesores (1, 2 y 4 cm), estudiadas en la investigación de (Ribeiro Simoes, 2015)

Notes sur la figure 160:

- Cette figure compare différents matériaux qui incluent des fibres naturelles ou sont faits de chaux, réalisés dans trois enquêtes différentes, afin de comparer les rendements de la valeur MBV, selon l'échelle NORDTEST.
- Les formulations FCR et FFR sont représentées dans le graphique comme F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45 et F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66 respectivement.
- La valeur MBV du bio-béton au chanvre est issue de la recherche de (Collet F, Prétot S, Lanos C., 2013).
- Les formulations F0 (R.T), F3 (R.T) et F5 (R.T) sont respectivement les chaux Caolinita, argile calcaire Ascal 10, mortier commercial Coating C. Étudié en différentes épaisseurs (1, 2 et 4 cm), étudié dans l'investigation de (Ribeiro Simoes, 2015)

- Las formulaciones FP70 (R.T) utilizó un ligante a base de cal Tradical 70 y NL Parex (R.T) utiliza un ligante de ParexGroup, las formulaciones anteriores utilizan una relación masa de cáñamo/ligante de 0,33 y 0,42 respectivamente, estudiadas en la investigación de (Ribeiro Simoes, 2015). Los espesores de las muestras estudiadas son de (5, 10 y 15 cm).

- Les formulations FP70 (RT) ont utilisé un liant à base de chaux Tradical 70 et NL Parex (RT) ont utilisé un liant ParexGroup, les formulations ci-dessus ont utilisé un rapport masse chanvre/liant de 0,33 et 0,42 respectivement, étudié dans l'investigation sur (Ribeiro Simoes, 2015). Les épaisseurs des échantillons étudiés sont (5, 10 et 15 cm).

## Capacidad de transmisión de vapor de agua (Wet cup)

Los resultados del ensayo de amortiguación de vapor de agua realizado sobre tres especímenes de cada formulación de interés (FCR y FFR) son presentados a continuación.

## Capacité de transmission de vapeur d'eau (Wet cup)

Les résultats de l'essai d'amortissement de la vapeur d'eau effectué sur trois échantillons de chaque formulation d'intérêt (FCR et FFR) sont présentés ci-dessous.

**Tabla 35.**

**Valores obtenidos del ensayo de Wetcup para especímenes estudiados de la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45.**

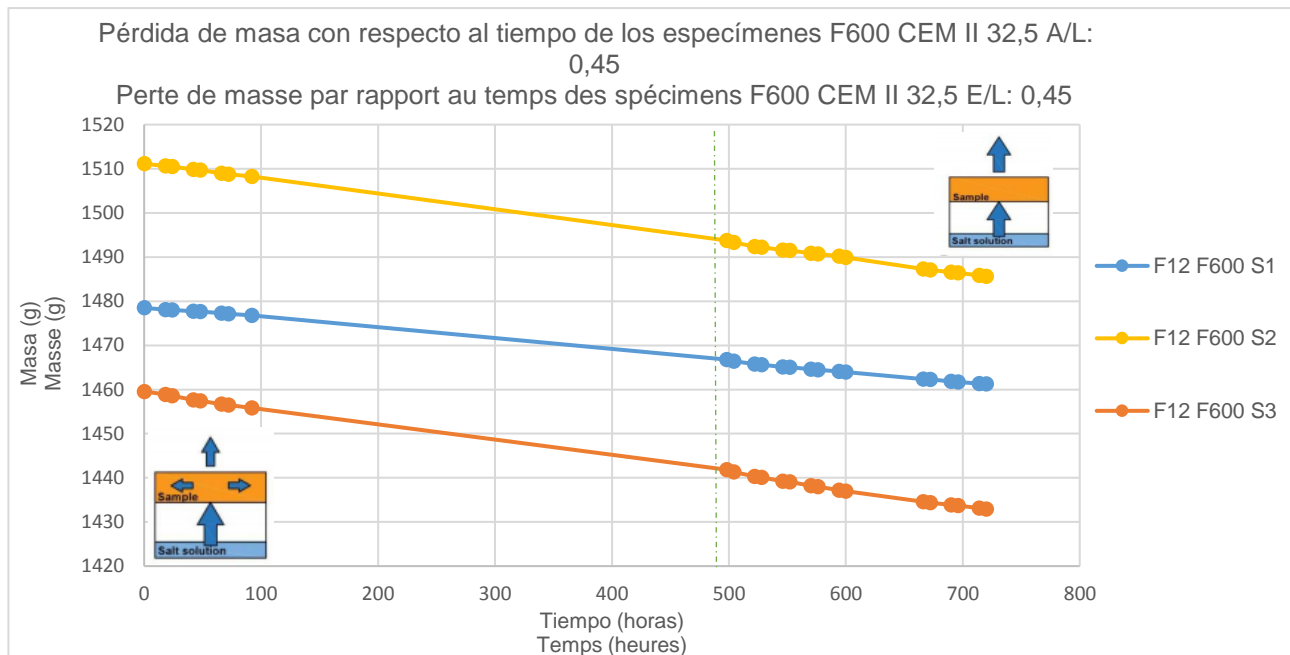
Tableau 35.

Valeurs obtenues par l'essai Wetcup pour les spécimens étudiés dans la formulation FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Espécimen Spécimen	G (kg/s)	g (kg/(s.m <sup>2</sup> ))	W (kg/(s.m <sup>2</sup> .Pa))	Z (s.m <sup>2</sup> .Pa)/kg)	δ (kg/(s.m.Pa))
FCR F600 S1	-1,00E-08	4,97E-07	3,54E-10	2,82E+09	1,06E-11
FCR F600 S2	-7,00E-09	3,48E-07	2,48E-10	4,03E+09	7,44E-12
FCR F600 S3	-1,00E-08	4,97E-07	3,54E-10	2,82E+09	1,06E-11
<b>Dato a reportar</b> <b>Donée á rapport</b>	-9,00E-09	4,48E-07	3,19E-10	3,23E+09	9,56E-12

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

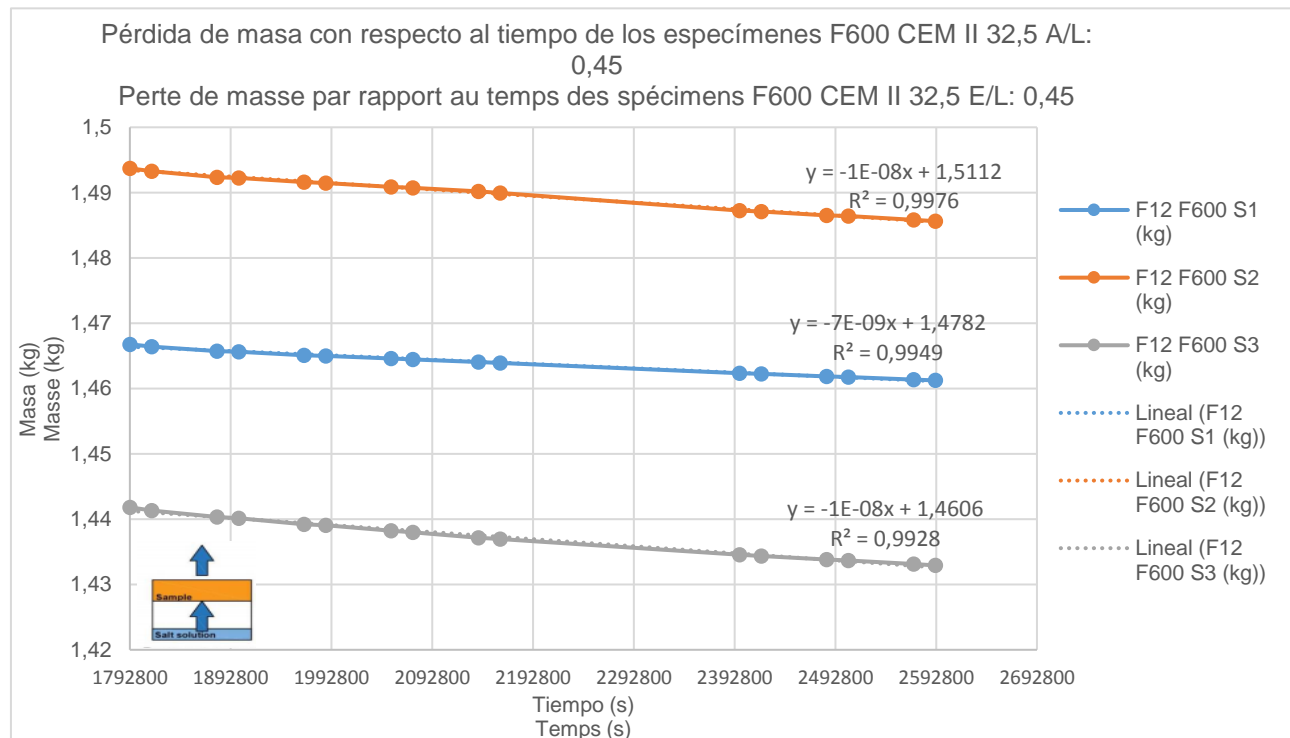


**Figura 161.** Pérdida de masa de los especímenes en los estados de equilibrio y permanente de intercambio de humedad en el ensayo de Wetcup.

**Figure 161.** Perte de masse des spécimens à états de l'équilibre et permanents d'échange d'humidité dans l'essai Wetcup.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 162.** Pérdida de la masa en los especímenes en el estado permanente de intercambio de humedad en el ensayo de Wetcup.

**Figure 162.** Perte de masse dans les spécimens à l'état permanent d'échange d'humidité dans l'essai Wetcup.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

**Tabla 36.**

**Valores obtenidos del ensayo de Wetcup para especímenes estudiados de la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66.**

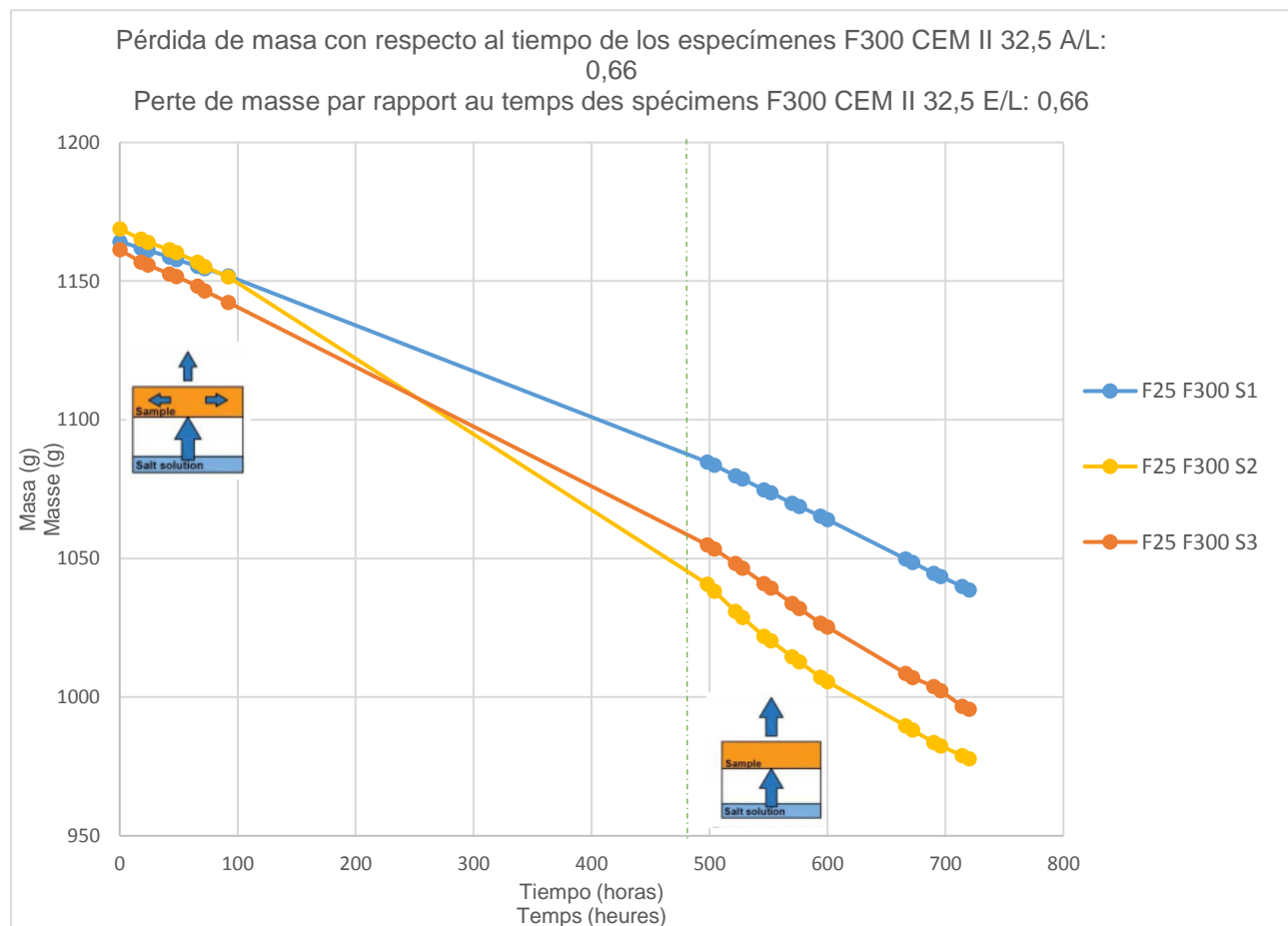
Tableau 36.

Valeurs obtenues par l'essai Wetcup pour les spécimens étudiés dans la formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66.

Espécime Spécimen	G (kg/s)	g (kg/(s.m <sup>2</sup> ))	W (kg/(s.m <sup>2</sup> .Pa))	Z (s.m <sup>2</sup> .Pa)/kg)	$\bar{\delta}$ (kg/(s.m.Pa))
FFR F300 S1	-6,00E-08	2,98E-06	2,13E-09	4,70E+08	6,38E-11
FFR F300 S2	-7,00E-08	3,48E-06	2,48E-09	4,03E+08	7,44E-11
FFR F300 S3	-8,00E-08	3,98E-06	2,83E-09	3,53E+08	8,50E-11
<b>Dato a reportar Donée á rapport</b>	<b>-7,00E-08</b>	<b>3,48E-06</b>	<b>2,48E-09</b>	<b>4,09E+08</b>	<b>7,44E-11</b>

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

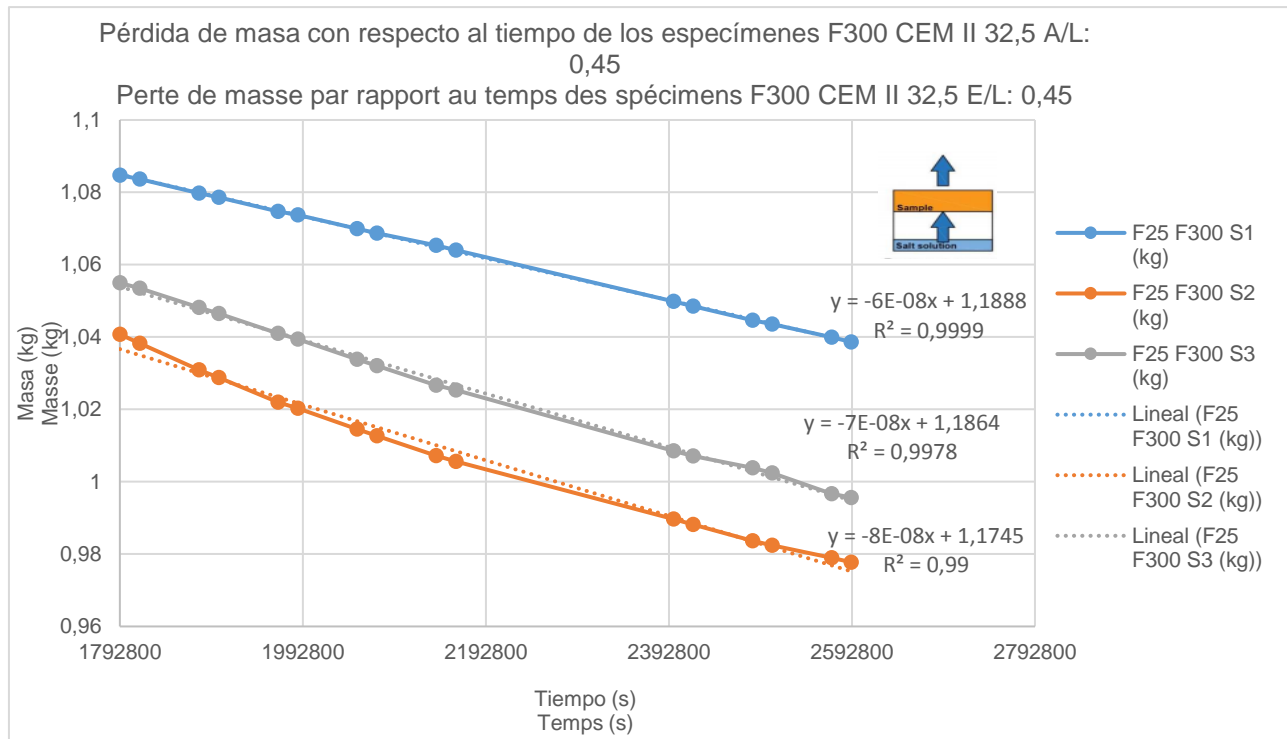


**Figura 163.** Pérdida de masa de los especímenes en los estados de equilibrio y permanente de intercambio de humedad en el ensayo de Wetcup.

**Figure 163.** Perte de masse des spécimens à états de l'équilibre et permanents d'échange d'humidité dans l'essai Wetcup.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 164.** Pérdida de la masa en los especímenes en el estado permanente de intercambio de humedad en el ensayo de Wetcup.

**Figure 164.** Perte de masse dans les spécimens à l'état permanent d'échange d'humidité dans l'essai Wetcup.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

## Costo de producción del bio-concreto

Es de importancia tener un análisis de los posibles costos en los que se incurriría al realizar 1 m<sup>3</sup> de mezcla de bio-concreto con cáscara de arroz, ya sea con la formulación FCR y FFR, además de tener un aproximado de cuánto costaría realizar un bloque como los realizados en este proyecto.

Haciendo uso de las ecuaciones de la 4 hasta la 8 más el dato de la densidad inicial de la mezcla obtenida de la producción de estas en el laboratorio, se calcula los materiales necesarios para producir un 1 m<sup>3</sup> de la mezcla, luego, con la información de las tablas 8 y 9 se calculan los costos de producir 1 m<sup>3</sup> así como 1 bloque de mezcla FCR y FFR en Costa Rica y también en Francia.

## Coût de production du bio-béton

Il est important d'avoir une analyse des coûts possibles qui seraient encourus lors de la fabrication de 1 m<sup>3</sup> de mélange de bio-béton avec de la balle de riz, soit avec la formulation FCR et FFR, en plus d'avoir une estimation approximative du coût de fabrication d'un bloc que ceux réalisés dans ce projet.

En utilisant les équations 4 à 8 plus les données de densité initiales du mélange obtenues à partir de leur production en laboratoire. Les matériaux nécessaires pour produire 1 m<sup>3</sup> du mélange sont calculés, puis avec les informations des tableaux 8 et 9, les coûts de production de 1 m<sup>3</sup> sont calculés ainsi 1 bloc de mélange FCR et FFR au Costa Rica et aussi en France.

**Tabla 37.**

**Cantidad de materia prima necesaria para elaborar 1 m<sup>3</sup> de bio-concreto con las dos formulaciones escogidas para la elaboración de bloques.**

Tableau 37.

Quantité de matière première nécessaire pour produire 1 m<sup>3</sup> de bio-béton avec les deux formulations choisies pour la préparation des blocs.

Formulación Formulation	$\rho_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	Relación Rapport		Materiales para producir 1 m <sup>3</sup> de bio-concreto Matériaux pour produire 1 m <sup>3</sup> de bio-béton		
		Granular/Ligante Granulaire/Liant	Agua/Ligante Eau/Liant	Ligante Liant (kg)	Cáscara de arroz Balle du Riz (kg)	Agua Eau (kg)
FCR	1436	0,19	0,45	876,2	165,0	394,3
FFR	865	0,38	0,66	424,7	160,0	280,3

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

**Tabla 38.**

**Costos que incurre fabricar 1 m<sup>3</sup> de bio-concreto con cáscara de arroz de la formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45.**

Tableau 38.

Coûts engagés pour fabriquer 1 m<sup>3</sup> de bio-béton de la balle de riz de la formulation FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Material Matériau	Cantidad Quantité (kg)	Costos Coûts			
		En Costa Rica Au Costa Rica		En Francia En France	
		₡	€	₡	€
Ligante (Cemento tipo II) Liant (CEM Type II)	876	129 677,6	200,3	139 003,4	214,8
Cáscara de arroz Balle du Riz	165	9 075,0	14,0	10 680,1	16,5
Agua Eau	394	492,9	0,8	765,7	1,2
<b>Total</b>		<b>139 245,5</b>	<b>215,1</b>	<b>150 449,2</b>	<b>232,4</b>

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

Nota sobre la tabla 38 y 39:

- El ligante cotizado en Costa Rica, corresponde a un ligante tipo cemento industrial en sacos de 50 kg, debido a que sus componentes son similares a los presentados por Optimat Vicat CEM II 32,5, utilizado en este proyecto de investigación. Ambas fichas técnicas se adjuntan en anexos.

Note sur les tableaux 38 et 39:

- Le liant de cité pour Costa Rica, correspond à un liant de type ciment industriel en sacs de 50 kg, car ses composants sont similaires à ceux présentés par Optimat Vicat CEM II 32,5, utilisé dans ce projet de recherche. Les deux fiches techniques sont jointes en annexes.



**Tabla 39.**

**Costos que incurre fabricar 1 m<sup>3</sup> de bio-concreto con cáscara de arroz de la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66.**

Tableau 39.

Coûts engagés pour fabriquer 1 m<sup>3</sup> de bio-béton de la balle de riz de la formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66.

Material Matériau	Cantidad Quantité (kg)	Costos Coûts			
		En Costa Rica Au Costa Rica	€	En Francia En France	€
Ligante (Cemento tipo II)					
Liant (CEM Type II)	425	66 600,0	102,9	72 281,8	111,7
Cáscara de arroz					
Balle du Riz	160	8 798,6	13,6	10 354,9	16,0
Agua					
Eau	280	350,4	0,5	544,3	0,8
Total		75 749,0	117,0	83 181,0	128,5

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

A continuación, se presenta el costo que representa elaborar 1 m<sup>3</sup> de cada formulación de interés y además se presenta el costo de realizar un bloque (15x20x40 cm) con la formulación FCR y también con la formulación FFR. Sabiendo de antemano que el volumen del bloque es de 0,012 m<sup>3</sup>.

Ensuite, le coût de préparation de 1 m<sup>3</sup> de chaque formulation d'intérêt est présenté et le coût de fabrication d'un bloc (15x20x40 cm) avec la formulation FCR également avec la formulation FFR est également présenté. Sachant à l'avance que le volume du bloc est de 0,012 m<sup>3</sup>.

**Tabla 40.**

**Costos que incurre fabricar 1 m<sup>3</sup> de bio-concreto con cáscara de arroz y un elemento tipo bloque con las formulaciones FCR y FFR.**

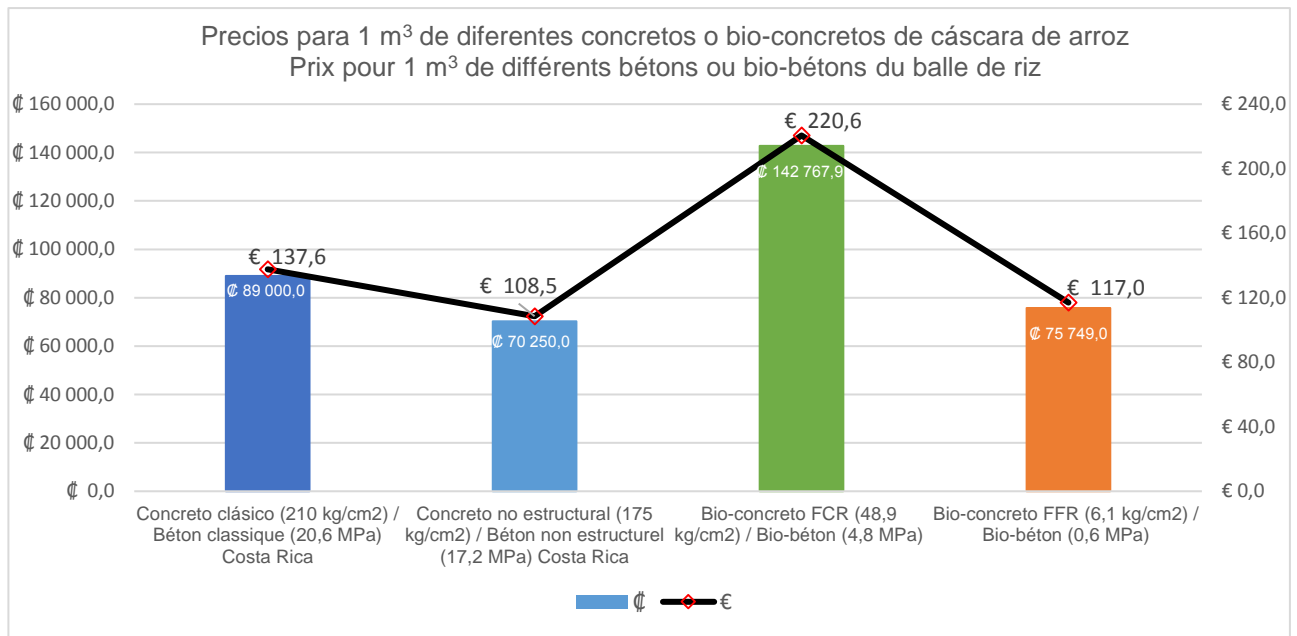
Tableau 40.

Coûts engagés pour fabriquer 1 m<sup>3</sup> de bio-béton de la balle de riz et un élément de type bloc avec des formulations FCR et FFR.

Descripción Description		Costos Coûts			
		En Costa Rica Au Costa Rica	€	En Francia En France	€
FCR	1 m <sup>3</sup>	142 767,9	220,6	150 449,2	232,4
Bloque Bloc	1 und. (15x20x40 cm)	1 713,2	2,6	1 805,4	2,8
FFR	1 m <sup>3</sup>	75 749,0	117,0	83 181,0	128,5
Bloque Bloc	1 und. (15x20x40 cm)	909,0	1,4	998,2	1,5

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

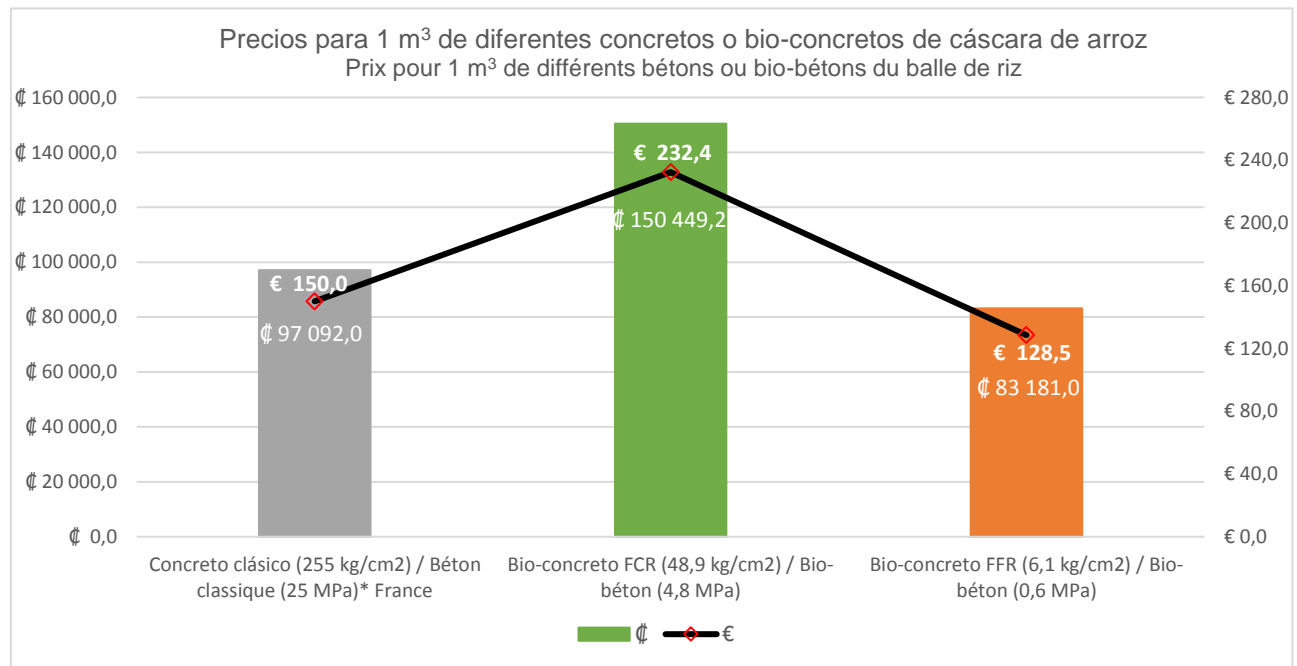


**Figura 165.** Costos por 1 m<sup>3</sup> de diferentes concretos y bio-concretos de las formulaciones en estudio FCR y FFR, con materiales cotizados en Costa Rica.

**Figure 165.** Coûts pour 1 m<sup>3</sup> de différents bétons et bio-bétons des formulations à l'étude FCR et FFR, avec des matériaux cotés au Costa Rica.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

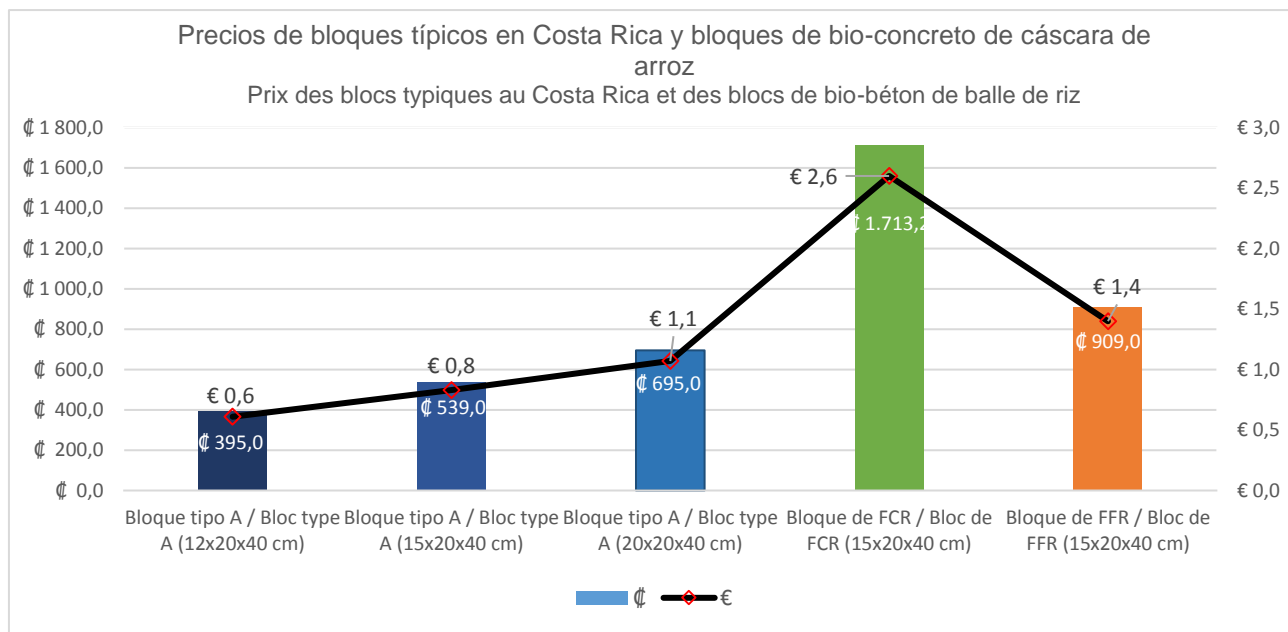


**Figura 166.** Costos por 1 m<sup>3</sup> de diferentes concretos y bio-concretos de las formulaciones en estudio FCR y FFR, con materiales cotizados en Francia.

**Figure 166.** Coûts pour 1 m<sup>3</sup> de différents bétons et bio-bétons des formulations à l'étude FCR et FFR, avec des matériaux cotés en France.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

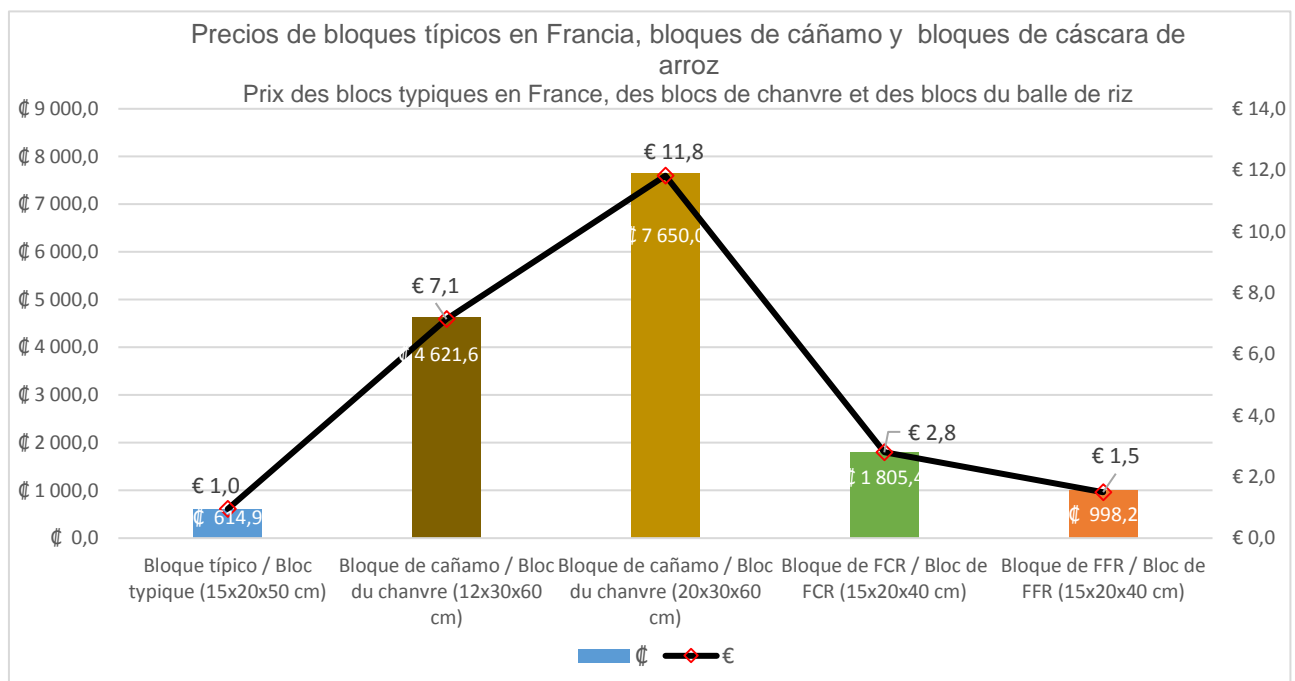


**Figura 167.** Costos de bloques típicos en Costa Rica tipo A según CSCR-10 y bloques de bio-concreto con cáscara de arroz.

**Figure 167.** Coûts de blocs typiques au Costa Rica type A selon CSCR-10 et blocs de bio-béton avec de balle de riz.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.



**Figura 168.** Costos de bloques típicos en Francia, bloques de cáñamo y bloques de cáscara de arroz.

**Figure 168.** Coûts des blocs typiques en France, des blocs de chanvre et des blocs de balle de riz.

Fuente. Elaboración propia.

Source Élaboration propre.

Notas sobre los precios presentados previamente:

- Los precios presentados para los bio-concretos de las formulaciones FCR y FFR, así como los bloques elaborados con estas formulaciones, son precios de los materiales cotizados en Costa Rica o Francia y estos no incluyen costos de producción industrial y/o mano de obra.

Notes sur les prix précédemment présentés:

- Les prix présentés pour les bio-bétons des formulations FCR et FFR, ainsi que les blocs réalisés avec ces formulations, sont des prix de matériaux cotés au Costa Rica ou en France et n'incluent pas les coûts de production industrielle et/ou de main d'œuvre.

# Análisis resultados

de

# Analyse résultats

## Caracterización de la cáscara de arroz

La cáscara de arroz utilizada en este proyecto como único agregado de los bio-concretos elaborados, proviene de la región francesa de Camargua. Este material granular es recibido en el laboratorio del ENTPE compactado, empacado en sacos y seco a temperatura ambiente.

Por lo que, al trabajar con este material y sin haberle dado un tratamiento físico ni químico previo a su caracterización física, se obtuvo que la densidad aparente no compactada es de  $113 \text{ kg/m}^3$ , dato que no se aleja de los resultados obtenidos en estudios previos con materiales similares o material de la misma fuente de distribución, ya que en el estudio de (Serrano, Borrachero, Monzó & Paya, 2012) se obtuvo una densidad no compactada de  $143 \text{ kg/m}^3$ , en comparación con un estudio más allegado a esta investigación en donde el material proviene de la misma fuente de distribución, el resultado de (Mena Rodríguez, 2019) de la densidad aparente no compacta reportada es de  $110 \text{ kg/m}^3$ .

De este último estudio, se pueden comparar metodologías, debido a que la utilizada por Mena Rodríguez fue la guía empleada en el presente proyecto. La altura estudiada fue la misma y la variación obtenida entre estas investigaciones es de 2,73 % en el valor de la densidad aparente no compactada.

Por lo que, a lo largo de este proyecto se tomó como dato de densidad aparente no compactada  $113 \text{ kg/m}^3$  para todos los cálculos en Donde fue necesario este dato.

Por otro lado, el material presenta una granulometría poco dispersa entre los tamices utilizados, como se muestra en las tablas 11 y 12,

## Caractérisation de la balle de riz

La balle de riz utilisée dans ce projet comme seul agrégat des bio-bétons élaborés, provient de la région française de Camargue, ce matériau granulaire est reçu dans le laboratoire de l'ENTPE compacté, emballé dans des sacs et séché à température ambiante.

Par conséquent, lorsque l'on travaille avec ce matériau et sans lui avoir donné de traitement physique ou chimique avant sa caractérisation physique, il a été obtenu que la densité non compactée était de  $113 \text{ kg/m}^3$ , donnée qui ne s'écarte pas des résultats obtenus dans les études précédentes avec des matériaux similaires ou provenant de la même source de distribution, car dans l'étude de (Serrano, Borrachero, Monzó & Paya, 2012) ils obtiennent une densité non compactée de  $143 \text{ kg/m}^3$ , et comme résultats d'une investigation plus proche de ce projet où le matériau est issu de la même source de distribution, le résultat (Mena Rodríguez, 2019) de la densité non compactée était de  $110 \text{ kg/m}^3$ .

À partir de cette dernière étude, les méthodologies peuvent être comparées, car celle utilisée par Mena Rodríguez a été le guide utilisé dans ce projet. La hauteur étudiée était la même et la variation obtenue entre ces investigations est de 2,73% pour la densité apparente non compactée.

Par conséquent, tout au long de ce projet,  $113 \text{ kg/m}^3$  de densité apparente ont été pris pour tous les calculs où ces données étaient nécessaires.

Par ailleurs, le matériau présente une granulométrie très serrée, comme le montrent les tableaux 11 et 12, à partir du tamis 2,5 mm, il est passé de manière cumulé: de 1 à 6% du matériau dans le tamis de 2, 5 mm, 80 à 84% du matériau

a partir del tamiz de 2,5 mm de apertura se tiene de manera acumulativa: de 1 a 6 % del material el retenido en el tamiz 2,5 mm, de 80 a 84 % del material retenido en el tamiz 1,25 mm, un 3,17 % retenido en el tamiz 1,00 mm, de 1,40 a 1,85 % retenido en el tamiz 0,63 mm y finalmente captado en la charola de 0,42 a 0,48 %. Por lo que, tamaño más relevante para esta cáscara de arroz es de 1,25 mm dándole así el tamaño característico a este material.

Este dato difiere en el resultado obtenido por Mena Rodríguez, como se muestra en la figura 44, el mayor porcentaje retenido en su estudio está en el tamiz 2,5 mm de apertura, teniendo así que el tamaño granulométrico dominante del material entre ambas investigaciones tiene una diferencia del doble del tamaño granulométrico dominante.

Por último, fue importante obtener el dato de la capacidad de absorción de agua del material, debido a que en las mezclas de bio-concreto, se necesita proporcionar la cantidad correcta de agua para permitir la hidratación del ligante y, además, hidratar las fibras naturales (agregado único en este caso). Con el fin de que este no quite agua necesaria para que se dé la reacción química entre agua/ligante que permite la generación de resistencia mecánica del material.

Como se mostró en la tabla 13 del apartado de resultados, en los primeros 30 minutos de contacto directo del material con el agua, se tiene una acelerada absorción de agua siendo un 120,51 % del peso de la cáscara de arroz. Como de antemano se sabía que el tiempo de contacto de la cáscara de arroz con el agua y ligante sería de 5 minutos en el proceso de mezclado, se calculó el porcentaje a este tiempo obteniendo una capacidad de absorción de agua de 104,01 % del peso de cáscara del arroz.

Este último dato tiene una variación importante del 55,2 % de capacidad de absorción de agua del material a los 5 minutos, según lo expuesto por Mena Rodríguez. Otro dato con el que se puede comparar es con el 160 % reportado por Nguyen D. en donde no especifica el tiempo con el que se alcanza este valor pero este difiere por 8,8 % de la capacidad máxima reportada en este proyecto, teniendo un 145,90 % de capacidad de absorción la cual se calculó a las 48 horas de sumersión del material en el agua.

Si bien, de primera mano se podría pensar que la cáscara de arroz al no ser tratada previamente al estudio, esta podría estar contaminada con material fino que interfiere en la

dans le tamis de 1,25 mm, 3,17% dans le tamis de 1,00 mm, 1,40 à 1,85% passe dans le tamis 0,63 mm et finalement capturé dans le bac de 0,42 à 0,48% de fines. Par conséquent, la taille la plus pertinente pour cette balle de riz est de 1,25 mm, ce qui donne la taille caractéristique de ce matériau.

Ces données diffèrent dans le résultat obtenu auprès de Mena Rodríguez, comme la montre figure 44, le pourcentage de passant le plus élevé dans son étude se trouve dans le tamis d'ouverture de 2,5 mm, ayant ainsi la granulométrie dominante en taille du matériau entre les deux investigations une différence de deux fois la taille granulométrique dominante.

Enfin, il est important d'obtenir les valeurs de la capacité d'absorption d'eau du matériau granuleux, car dans les mélanges de bio-béton, il est nécessaire de fournir à la fois la bonne quantité d'eau pour permettre l'hydratation du liant et mais aussi pour hydrater les fibres naturelles (agrégat unique dans ce cas). Afin que cela n'élimine pas l'eau nécessaire à la réaction chimique entre l'eau et le liant qui permet la génération de résistance mécanique du matériau.

Comme le montre le tableau 13 de la section des résultats, au cours des 30 premières minutes de contact direct du matériau avec de l'eau, il y a une absorption accélérée de l'eau représentant 120,51 % du poids de la balle de riz. Comme, à l'avance, on savait que le temps de contact de la balle de riz avec l'eau et le liant serait de 5 minutes dans le processus de mélange, le pourcentage a été calculé à ce temps, obtenant une capacité d'absorption d'eau de 104,01 % du poids de la balle de riz.

Comme le montre le tableau 13 de la section des résultats, au cours des 30 premières minutes de contact direct du matériau avec de l'eau, il y a une absorption rapide de l'eau représentant 120,51 % du poids de la balle de riz. Comme, à l'avance, on a pris comme temps de contact de la balle de riz avec l'eau et le liant une durée de 5 minutes dans le processus de mélange, le pourcentage a été calculé pour cette durée, obtenant une capacité d'absorption d'eau de 104,01 % du poids de la balle de riz.

Tout d'abord, on peut penser que la balle de riz si elle n'est pas traitée avant l'étude, pourrait être contaminée par des matériaux fins qui interfèrent avec l'absorption d'eau pendant l'étude, comme remarqué lors de l'étude granulométrique de cette matière, les fins ne dépasse pas 1 % du

absorción de agua durante el estudio, se notó que, al hacer el estudio granulométrico de este material, los finos retenidos en la charola no superan el 1 % del material tamizado, en contraste con el 2,39 % retenido en la charola en el estudio de Mena Rodríguez, es decir, este autor obtuvo más finos en su estudio granulométrico, aun así, la capacidad de absorción de agua de la cáscara de arroz fue menor a los 5 minutos de estudio.

Por lo que la presencia de finos en el material no necesariamente es la principal causa de tener mayor absorción de agua en este, se sabe por los resultados del estudio granulométrico del proyecto de investigación de (Mardama Nayagom, 2019) que existe una presencia de 1,1 g de granos de arroz por 200 g de cáscara de arroz tamizados. Su estudio compartió algunos meses de realización con el presente proyecto, por lo que el material granular estudiado por Mardama Nayagom, es el mismo utilizado en este proyecto.

La presencia de grano de arroz en el material granular, puede estar afectando la capacidad de absorción de agua del material utilizado en este estudio.

## **Formulación de mezclas de bio-concreto**

A continuación, se discutirán los resultados obtenidos de las actividades que conllevó realizar las dosificaciones de bio-concreto, los diferentes tipos de curados, desmoldes y, además, sus respectivos resultados del ensayo de compresión.

Es importante mencionar que se tomó como punto de partida los resultados obtenidos en los estudios de Mardama Nayagom, Mena Rodríguez y los requisitos de resistencia a la compresión de las normas INTE C89-2017 para el caso de Costa Rica y el Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo para el caso de Francia, para la decisión de variación de las relaciones Ligante/Granular.

Debido que se sabía que el mínimo de resistencia a la compresión demandado para una unidad de bloque era de 3,5 MPa y para el promedio de tres muestras ensayadas 4,14 MPa (según INTE C89-2017), era conocido que se debía intentar con una relación de Ligante/Granular de 3,89 a más, es decir de 440 kg de ligante por 113 kg de cáscara de arroz a más. Puesto que los resultados de

material tamisé, contrairement aux 2,39 % de l'étude de Mena Rodríguez, c'est-à-dire que cet auteur a obtenu plus de fines dans son étude granulométrique mais la capacité d'absorption d'eau de la balle de riz était inférieure à 5 minutes d'étude.

Donc, la présence de fines dans le matériau n'est pas nécessairement la principale cause d'une plus grande absorption d'eau, il est connu des résultats de l'étude granulométrique du projet de recherche (Mardama Nayagom, 2019) qu'il y a une présence de 1,1 g de grains de riz pour 200 g de balle de riz tamisé. Son étude a été réalisée quelques mois avant ce projet, de sorte que le matériau granulaire étudié par Mardama Nayagom est le même que celui utilisé dans ce projet.

La présence de grains de riz dans le matériau granulaire peut sans doute affecter la capacité d'absorption d'eau du matériau utilisé dans cette étude.

## **Formulation de mélanges de bio béton**

Ensuite, les résultats obtenus des activités impliquées dans la réalisation des dosages de bio-béton (les différents types de conditions de cure, de démoulage et les résultats d'essai de compression respectifs) seront discutés.

Il est important de mentionner les résultats obtenus dans les études de Mardama Nayagom, Mena Rodríguez et les exigences de résistance à la compression des normes INTE C89-2017 pour le cas du Costa Rica et le Protocole d'Essais pour la Mesure des Performances Seuil des Bétons de Chanvre dans le cas de la France, pour le choix de des quantités Liant/Granulat.

Parce qu'on savait que la résistance minimale à la compression exigée pour une unité de bloc était de 3,5 MPa et pour la moyenne de trois échantillons testés 4,14 MPa (selon INTE C89-2017), on savait qu'il y avait à essayer avec un rapport Liant/Granulé de 3,89 ou plus, soit 440 kg de liant pour 113 kg de balle de riz ou plus. Depuis, les résultats de Mena Rodríguez présentés dans le tableau 14, ont montré que ces relations dans le bio-béton donnaient une résistance à la compression



Mena Rodríguez presentados en la tabla 14, mostraban que estas relaciones en los bio-concretos daban resistencias a la compresión mayores a 3,10 MPa, partiendo de la relación Ligante/Granular antes mencionada.

Lo que se decidió variar de su procedimiento fue el ligante utilizado, debido que estos resultados mencionados anteriormente se lograron con cal natural y, asimismo, como se obtuvo estos resultados de su estudio, también se sabía de este, que las cales suministradas en el mercado de Costa Rica no cumplían con la misma industrialización y constancia de calidad que las utilizadas en el estudio en Francia y con las cuales se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 14.

Esto influye en la decisión de utilizar cemento Portland tipo II, pensando, a su vez, en las dosificaciones de bio-concreto estudiadas en el presente proyecto tenían el fin de utilizarse en la elaboración de bloques no estructurales. Por lo que la obtención de altas resistencias a edades tempranas juega un papel importante en la posibilidad de desmoldar los especímenes con menores edades.

Primeramente, se analiza los resultados de las dosificaciones estudiadas en la primera fase de elaboración de estas, las cuales son desde la F1 F250 hasta F6 F250, los resultados se muestran en las tablas 16 y 17.

Para el caso de las formulaciones F1 F250, F2 F250 y F3 F250, se obtuvo densidades iniciales de 668, 766 y 826 kg/m<sup>3</sup>, densidades antes del ensayo de compresión de 28 días de 570, 630 y 669 kg/m<sup>3</sup> respectivamente para las formulaciones mencionadas. Por lo que se tiene una variación entre las densidades iniciales de las formulaciones y la densidad de un concreto convencional tomando 2 200 kg/m<sup>3</sup> (rango 2 200 a 2 400 kg/m<sup>3</sup>) de 63 a 70 %, lo que deja en evidencia que se obtuvo un material liviano.

Las formulaciones mencionadas presentan una resistencia a la compresión a los 28 días de 0,162, 0,228 y 0,306 MPa, asimismo, un módulo de elasticidad aparente de 2,5, 4,4 y 19,2 MPa respectivamente para F1 F250, F2 F250 y F3 F250.

Por lo que, basado en los mínimos de resistencia a la compresión y módulos de elasticidad exigidos en las normas de interés, se descartan estas tres formulaciones como propuesta para la realización de los bloques no estructurales para Costa Rica. Pero para Francia,

superior a 3,10 MPa, a partir de la relación Liant/Granulat mencionada ci-dessus.

Ce qui a été décidé de s'écarter de sa procédure était le liant utilisé, car ces résultats mentionnés ci-dessus ont été obtenus avec de la chaux naturelle et, comme ces résultats ont été obtenus à partir de son étude, il était également connu de cela, que les chaux fournies sur le marché du Costa Rica ne respectent pas les mêmes critères d'industrialisation et de preuve de qualité que ceux utilisés dans l'étude en France et avec lesquels les résultats indiqués dans le tableau 14 ont été obtenus.

Cela a influencé la décision d'utiliser du ciment Portland de type II, pensant à leur tour que les dosages de bio-béton étudiés dans ce projet étaient destinés à être utilisés pour la préparation de blocs non structuraux. Par conséquent, l'obtention d'une résistance élevée à un âge précoce joue un rôle important dans la possibilité de démouler des échantillons avec des âges plus jeunes.

Tout d'abord, les résultats des dosages étudiés dans la première phase de préparation de ceux-ci sont analysés, à savoir de F1 F250 à F6 F250, et les résultats sont présentés dans les tableaux 16 et 17.

Dans le cas des formulations F1 F250, F2 F250 et F3 F250, des densités initiales de 668, 766 et 826 kg/m<sup>3</sup> ont été obtenues, des densités avant l'essai de compression de 28 jours de 570, 630 et 669 kg/m<sup>3</sup> respectivement pour les formulations mentionnées. Il y a donc une variation entre les densités initiales des formulations et la densité d'un béton conventionnel prenant 2200 kg/m<sup>3</sup> (plage de 2200 à 2400 kg / m<sup>3</sup>) de 63 à 70%, ce qui montre qu'un matériau léger a été obtenu.

Les formulations susmentionnées ont une résistance à la compression à 28 jours de 0,162, 0,228 et 0,306 MPa, ainsi qu'un module d'élasticité apparent de 2,5, 4,4 et 19,2 MPa respectivement pour F1 F250, F2 F250 et F3 F250.

Par conséquent, sur la base de la résistance minimale à la compression et du module d'élasticité requis dans les règles d'intérêt, ces trois formulations sont rejetées en tant que proposition pour la réalisation de blocs non structuraux pour le Costa Rica. Mais pour la France, seule la formulation F3 F250 est sauvée ce qui répond au minimum établi (présenté dans le tableau 3), dans le protocole pris comme référence pour murs, sols et revêtements.

se rescata solamente la formulación F3 F250 la cual cumple con los mínimos establecidos (presentados en la tabla 3), en el protocolo tomado como referencia, para muros, suelos y recubrimiento.

Ahora bien, las formulaciones para F4 F250, F5 F250 y F6 F250, que utilizan cal natural como ligante, se analizaron con el fin de observar que rendimiento ante la compresión tendrían y si era posible tomarlas en cuenta como propuesta para los bloques no estructurales propuestos para Francia.

Durante el proceso, se descartó la formulación F5 F250, debido a que los tres especímenes que se iban a ensayar, durante el transporte de un laboratorio a otro se quebraron, como se muestra en la figura 47, no se tiene una explicación sobre este fenómeno, pero sí una hipótesis, la cual es que los cilindros tenían diferentes cantidades de humedad en diferentes lados de este, generando planos más débiles que otros en estos especímenes y al momento de transportarlos esos planos generaron planos de falla. En la figura 47, se puede observar la diferencia de tonalidades que presentan los cilindros.

Por otro lado, para las formulaciones F4 F250 y F6 F250 se obtuvieron densidades iniciales de 715 y 832 kg/m<sup>3</sup> y densidades antes del ensayo de 707 kg/m<sup>3</sup> y 828 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. En primera instancia, parece que estas formulaciones son un poco más densas que las F1, F2 y F3, pero se debe comparar las que son igual de relación Ligante/Granular y, además, relación Agua/Ligante, siendo así, se puede comparar las densidades de la formulación F2 y F4 teniendo para las densidades iniciales un 4,84 % de diferencia y para las densidades finales de 10,89 %, con estos resultados se puede decir que para estas formulaciones las realizadas con ligante tipo cal son más densas en aproximadamente un 10 % a los 28 días.

Las resistencias a la compresión a los 28 días de las formulaciones F4 y F5 fueron de 0,149 y 0,194 MPa, además, un módulo de elasticidad aparente de 1,6 y 3,6 MPa respectivamente. Por lo anterior estas formulaciones quedan descartadas de ser una opción para la elaboración de los bloques no estructurales.

Analizando sobre las fallas que presentaron los cilindros, presentadas en las figuras 48 y 49 de las formulaciones F1, F2, F3, F4 y F6, se puede observar, por ejemplo, que entre

Cependant, les formulations pour F4 F250, F5 F250 et F6 F250, qui utilisent de la chaux naturelle comme liant, ont été analysées afin d'observer les performances de compression qu'elles auraient et s'il était possible de les prendre en compte en tant que proposition pour les blocs non structuraux proposés pour la France

Au cours du processus, la formulation F5 F250 a été rejetée car les trois échantillons à tester ont été cassés lors du transport d'un laboratoire à un autre comme le montre la figure 47, il n'y a aucune explication à ce phénomène, mais il y a une hypothèse, qui est que les cylindres avaient différentes quantités d'humidité de différents côtés, générant des zones plus faibles que d'autres dans ces spécimens et au moment du transport, ces zones ont généré des plans de faille. Dans la figure 47, vous pouvez voir la différence de tons présentée par les cylindres.

Par ailleurs, pour les formulations F4 F250 et F6 F250, les densités initiales de 715 et 832 kg/m<sup>3</sup> ont été obtenues et les densités, du test précédent de 707 kg/m<sup>3</sup> et 828 kg/m<sup>3</sup> respectivement. Dans le premier cas, parce que ces formulations sont un peu plus denses que F1, F2 et F3, mais celles qui sont égales dans le rapport Liant/Granulat et aussi le rapport Eau / Liant doivent être comparées, étant ainsi, les densités de la formulation F2 et F4 peuvent être comparées en tenant compte des densités initiales à 4,84 % de différence et pour des densités de 10,89 %, avec ces résultats, il est conclu que pour ces formulations celles faites avec du liant de type chaux sont plus dense d'environ 10 % à 28 jours.

Les résistances à la compression à 28 jours des formulations F4 et F5 étaient de 0,149 et 0,194 MPa plus un module d'élasticité apparentes de 1,6 et 3,6 MPa respectivement. Par conséquent, ces formulations sont exclues d'être une option pour la préparation de blocs non structuraux.

En analysant les défaillances présentées par les cylindres, présentées aux figures 48 et 49, des formulations F1, F2, F3, F4 et F6, on peut observer par exemple que plus le rapport eau/liant augmente, le module élastique apparent augmente (tableau 17) et donc la rupture présentée dans le cylindre change (Figure 48) pour celui dont le module d'élasticité apparent est mineur, F1 F250, le cylindre avait

mayor fue la relación Agua/Ligante aumentó el módulo de elasticidad aparente (tabla 17) y así también cambió la falla presentada en el cilindro (Figura 48) para el de menor módulo de elasticidad aparente, F1 F250, el cilindro tendió a expandirse a los costados, en vez de presentar una falla localizada o en forma de grieta que aumentara con respecto al aumento de compresión.

El cilindro de la formulación F2 F250 presentó una falla localizada en el tercio que menor compactación tuvo durante la elaboración de este. Igualmente, el cilindro de la formulación F3 F250 presentó una falla localizada en el tercio que recibió menor compactación y este presentó una menor expansión del material al fallar y esta era la formulación que tuvo mayor módulo de elasticidad aparente.

Para los cilindros de las formulaciones F4 y F5 (figura 49), ambos tendieron a expandirse a los costados, igualmente el de menor módulo de elasticidad aparente presentó mayor expansión durante el ensayo.

Por último, para estas formulaciones se debe mencionar que el procedimiento de curado de los cilindros, fue dejarlos reposar en el laboratorio y removerles el molde a los 24 días, se ingresaron al horno por 96 horas a una temperatura constante de 50 °C, siguiendo lo indicado en el Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo. Lo que se pretendía con esto era extraer la mayor cantidad posible del agua libre existente en los cilindros y dejar la masa de esos en las mismas condiciones para todos y así poder decir que la resistencia a la compresión obtenida que fue genera por la resistencia desarrollada por el ligante y la mezcla de este con el granular, minorando el posible aporte que el agua libre pudiera tener durante el ensayo.

A continuación, se analizará los resultados de las formulaciones estudiadas en la segunda fase, las cuales van desde la F8 F500 hasta la F24 F350, presentadas en la tabla 18 y 19. Se analizará por grupos que comparten la misma relación Ligante/Granular y después de manera general la comparación entre estos grupos.

Se debe mencionar que un cambio importante en la metodología de curado fue que de seis cilindros elaborados por formulación, tres fueron desmoldados a los 7 días y no se ingresaron al horno fueron ensayados el mismo día de desmolde, luego de los tres restantes 2 (N2 y N3) fueron desmoldados a los 21 días de edad e

tendencia a se dilatar sur les côtés au lieu de présenter une faute localisé ou sous forme de fissure qui augmentera avec la augmente la compression.

Le cylindre de la formulation F2 F250 présentait une rupture située dans le tiers qui avait moins de compactage lors de l'élaboration. De même, le cylindre de la formulation F3 F250 présentait une rupture située dans le tiers qui recevait moins de compactage et cela présentait une plus petite expansion du matériau en cas de défaillance et c'était la formulation qui présentait le plus grand module d'élasticité apparente.

Pour les cylindres des formulations F4 et F5 (figure 49), les deux avaient tendance à se dilater sur les côtés, également le cylindre avec le plus module d'élasticité apparent a montré une expansion plus importante pendant l'essai.

Enfin, pour ces formulations, il convient de mentionner que la procédure de cure des cylindres, consistait à les laisser reposer en laboratoire et à retirer le moule à 24 jours, puis elles ont été introduites dans l'étuve pendant 96 heures à une température constante de 50 °C, suivant le protocole d'essai pour la mesure des performances des seuils en béton de chanvre, ce qui visait à extraire autant d'eau libre que possible dans les cylindres et ainsi pouvoir dire que la résistance à la compression obtenue était générée par le liant et la balle de riz, réduisant ainsi la contribution possible que l'eau libre pourrait avoir pendant l'essai.

Ensuite, les résultats des formulations étudiées dans la deuxième phase seront analysés, allant de F8 F500 à F24 F350, présentés dans les tableaux 18 et 19. Ils seront analysés par des groupes qui partagent la même relation liant/granulat, puis en général la comparaison entre ces groupes.

Il convient de mentionner qu'un changement important sur la méthodologie de cure des six cylindres fabriqués par formulation, trois étaient démoulés après 7 jours et non entrés dans le four ont été testés le même jour de démoulage, après les trois restants 2 (N2 et N3) ont été démoulés à 21 jours et placés au four pendant 7 jours à une température constante de 50 °C, afin d'atteindre la masse vérifiée dans les cylindres et d'effectuer l'essai de

ingresados al horno por 7 días a una temperatura constante de 50 °C, con el fin de alcanzar masa constante en los cilindros y realizar el ensayo de compresión en estos a los 28 días, el último restante (N1) fue desmoldado con 1 día de edad y se dejó en reposo a temperatura ambiente hasta alcanzar los 21 días de edad e igual ser ingresado por 7 días en el horno para alcanzar masa constante y realizarle el ensayo de resistencia a la compresión con 28 días de edad.

Lo anterior se realizó con el fin de poder analizar si estos cambios en el procedimiento de desmolde y curado de los cilindros generaba un cambio en las densidades, deformaciones y/o resistencias a la compresión dentro de una misma formulación.

Empezando por las formulaciones que tienen una relación Ligante/Granular: 4,42 (500 kg de ligante/113 kg de cáscara de arroz) se tienen las formulaciones F8, F9 y F92. Para las cuales se tomó el dato de la densidad inicial de los seis cilindros elaborados y el promedio fue de 1 470, 1 507, 1 497 kg/m<sup>3</sup> respectivamente para dichas formulaciones, obteniendo el mayor valor de densidad para la formulación con mayor relación Agua/Ligante, el segundo mayor valor en esta densidad fue de la formulación con A/L: 0,45 y la densidad más baja la obtuvo la formulación con A/L: 0,50. Densidades mostradas en tabla 19.

Para estas mismas formulaciones F8, F9 y F92 a los 28 días, antes del ensayo de compresión se tomó el dato de la densidad promedio de los cilindros (N2 y N3) desmoldados con 21 días edad e ingresados al horno por 7 días y el dato de la densidad antes del ensayo de compresión a los 28 días del cilindro (N1) desmoldado con 1 día de edad e ingresado al horno por 7 días antes del ensayo, las diferencias porcentuales entre estos dos datos de densidad son de: 1,29 %, 2,88 %, 2,83 % respectivamente para estas formulaciones.

Además, en la misma tabla se presenta el valor de la densidad final teórica que se obtuvo con la ecuación 8, este valor es teórico y se obtiene de la información técnica del ligante utilizado (Optimat Vicat CEM II 32,5), por lo que, si se utiliza otro ligante, esta ecuación puede variar y con esto el cálculo de la densidad final teórica de las formulaciones. Entonces sabiendo esto, las densidades antes del ensayo de compresión a los 28 días varían en porcentaje con respecto a la densidad final teórica en:

- F8: cilindro desmoldado con un día de edad (N1), diferencia de 11,62 %.

l'essai de compression à 28 jours, le dernier cylindre restant (N1) a été démoulé à 1 jour et laissé au repos à température ambiante jusqu'à 21 jours et après pendant 7 jours dans le four pour atteindre une masse constante et effectuer l'essai de résistance à la compression à l'âge de 28 jours.

Ce qui précède, a été fait afin d'analyser si ces changements dans le processus de démoulage et de cure des cylindres ont généré un changement dans les densités, les déformations et/ou les résistances à la compression dans la même formulation.

En commençant par les formulations qui ont un rapport Liant/Granulat: 4,42 (500 kg de liant / 113 kg balle de riz), nous avons les formulations F8, F9 et F92 pour lesquels les données initiales de densité des six cylindres élaborés ont été prises et la moyenne était respectivement de 1 470, 1 507, 1 497 kg/m<sup>3</sup> pour lesdites formulations, obtenant la valeur de densité la plus élevée pour la formulation avec le rapport le plus élevé de Eau/Liant, la deuxième valeur la plus élevée à cette densité était de la formulation avec E/L:0,45 et la densité la plus basse a été obtenue par la formulation avec E/L: 0,50. Densités indiquées dans le tableau 19.

Pour ces mêmes formulations F8, F9 et F92 à 28 jours, avant du essai de compression, la densité moyenne des cylindres (N2 et N3) démoulés à 21 jours et portés au four pendant 7 jours a été prise et les données de la densité avant l'essai de compression à 28 jours du cylindre (N1) démoulé à 1 jour et entré au four pendant 7 jours avant l'essai, les différences en pourcentage entre ces deux données de densité sont: 1,29 % , 2,88 %, 2,83 % respectivement pour ces formulations.

De plus, dans le même tableau, la valeur de la densité finale théorique obtenue avec l'équation 8 est présentée, cette valeur est théorique et est obtenue à partir des informations techniques du liant utilisé (Optimat Vicat CEM II 32.5), donc si un autre liant est utilisé, cette équation peut varier et avec cela le calcul de la densité finale théorique des formulations. Sachant cela, les densités avant l'essai de compression à 28 jours varient en pourcentage par rapport à la densité théorique finale en:

- F8: le cylindre (N1) démoulé à un jour, différence de 11,62 %. Cylindres (N2 et N3) démoulés à 21 jours, différence de 10,46 %.

Cilindros desmoldados a los 21 días (N2 y N3), diferencia de 10,46 %.

- F9: cilindro desmoldado con un día de edad (N1), diferencia de 11,68 %. Cilindro desmoldado a los 21 días (N2 y N3), diferencia de 9,05 %.
- F92: cilindro desmoldado con un día de edad (N1), diferencia de 14,38 %. Cilindro desmoldado a los 21 días (N2 y N3), diferencia de 11,88 %.

Se nota entonces que los cilindros desmoldados con mayor edad presentan una diferencia porcentual entre la densidad antes del ensayo de compresión y la densidad final teórica menor que la diferencia porcentual entre estas dos densidades para los cilindros desmoldados con tan solo 24 horas de edad. Por lo tanto, el tiempo de desmolde sí tiene una afectación en la densidad del material, para las formulaciones F500.

Dicha diferencia se evidencia mejor si de manera porcentual, se compara primero la densidad inicial de las formulaciones contra la densidad final teórica, se obtiene cuánto se espera que sea en teoría el porcentaje de diferencia entre estas densidades. Luego, se obtiene el porcentaje práctico de diferencia entre la densidad inicial y la densidad obtenida antes del ensayo de compresión a los 28 días, para las diferentes condiciones de desmolde (1 y 21 días).

Por lo que se tiene para:

- F8 F500:
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad final teórica: 11,56 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión de 28 días (desmolde a 1 día de edad): 21,84 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión de 28 días (desmolde a 21 días de edad): 20,82 %.
- F9 F500:
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad final teórica: 16,46 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad

- F9: le cylindre (N1) démoulé à un jour, différence de 11,68 %. Cylindres (N2 et N3) démoulés à 21 jours, différence de 9,05 %.
- F92: le cylindre (N1) démoulé à un jour, différence de 14,38 %. Cylindres (N2 et N3) démoulés à 21 jours, différence de 11,88 %.

On constate alors que les cylindres démoulés à 21 jours présentent une différence en pourcentage entre la densité avant l'essai de compression et la densité finale théorique inférieure à la différence en pourcentage entre ces deux densités pour les cylindres démoulés seulement avec 24 heures après fabrication. Ensuite, le temps de démoulage a un effet sur la densité du matériau, pour les formulations F500.

Cette différence est mieux mise en évidence si, d'une manière en pourcentage, la densité initiale des formulations est comparée d'abord à la densité finale théorique, on obtient combien le pourcentage de différence entre ces densités devrait être en théorie. Ensuite, le pourcentage pratique de différence entre la densité initiale et la densité obtenue avant l'essai de compression à 28 jours est obtenu, pour les différentes conditions de démoulage (1 et 21 jours).

Alors on a:

- F8 F500 :
  - Différence entre la densité initiale de formulation et la densité finale théorique: 11,56 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression de 28 jours (démoulage à 1 jour): 21,84 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression de 28 jours (démoulage à 21 jours): 20,82 %.
- F9 F500
  - Différence entre la densité initiale de formulation et la densité finale théorique: 16,46 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression de 28 jours (démoulage à 1 jour): 26,21 %.

- antes del ensayo de resistencia a la compresión de 28 días (desmolde a 1 día de edad): 26,21 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión de 28 días (desmolde a 21 días de edad): 24,02 %.
- F92 F500:
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad final teórica: 8,95 %
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión de 28 días (desmolde a 1 día de edad): 22,04 %
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión de 28 días (desmolde a 21 días de edad): 19,77 %

De lo anterior, se puede notar, que con ambos tiempos de desmolde e ingreso al horno se pierde porcentualmente el doble de lo que teóricamente se debería perder en la densidad final de los especímenes. Pero, asimismo, en todos los casos de los cilindros (N2 y N3) que permanecieron más tiempo con el molde, la diferencia porcentual entre la densidad antes del ensayo y la densidad final teórica fue menor que la diferencia que obtuvieron los cilindros con menor tiempo con el molde (N1). Estos resultados, de las diferencias entre las densidades, se muestran gráficamente en las figuras 58 y 59.

Con respecto a la resistencia a la compresión, para las formulaciones F8 F500, F9 F500 y F92 F500, en todos los casos siempre hubo un poco aumento o se mantuvo la resistencia a la compresión, entre los ensayos realizados a los 7 días de edad y los de 28 días de edad, los datos se muestran en la tabla 18.

Para este grupo de formulaciones, se dio un caso particular respecto a las resistencias a la compresión a los 28 días, obtenidas por los cilindros desmoldados con 1 día de edad y las obtenidas por los cilindros desmoldados a 21 días. Los que se desmoldaron con 1 día de edad presentaron mayores resistencias que los desmoldados a los 21 días. Esto se repite en las formulaciones como F14 F700, F15 F700 y F17

- Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression de 28 jours (démoulage à 21 jours): 24,02 %.
- F92 F500 :
  - Différence entre la densité initiale de formulation et la densité finale théorique: 8,95 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression de 28 jours (démoulage à 1 jour): 22,04 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression de 28 jours (démoulage à 21 jours): 19,77 %.

D'après ce qui précède, on peut alors noter qu'avec les deux temps de démoulage et d'entrée dans le four, deux fois plus que théoriquement devrait être perdu dans la densité finale des cylindres est perdue. Mais aussi, dans tous les cas des cylindres (N2 et N3) qui sont restés plus longtemps avec le moule, la différence en pourcentage entre la densité avant l'essai et la densité finale théorique était inférieure à la différence obtenue par les cylindres avec moins de temps avec le moule (N1). Ces résultats, des différences entre les densités, sont représentés graphiquement aux figures 58 et 59.

En ce qui concerne la résistance à la compression, pour les formulations F8 F500, F9 F500 et F92 F500, dans tous les cas, il y a toujours eu une légère augmentation ou une résistance à la compression a été maintenue, parmi l'essai effectués à 7 jours d'âge et celles de 28 jours, les données sont présentées dans le tableau 18.

Pour ce groupe de formulations, il y a eu un cas particulier concernant les résistances à la compression à 28 jours, obtenues par les cylindres démoulés à 1 jour et celles obtenues par les cylindres démoulés à 21 jours. Ceux qui ont été démoulés à 1 jour avaient une résistance plus élevée que ceux démoulés à 21 jours. Cela se répète dans les formulations telles que F14 F700, F15 F700 et F17 F750, mais le même effet ne se produit pas dans les formulations F10 F600, F11 F600, F12 F600, F13 F700, F16 F750, F18 F650, F19 F650 et F20 F550, les données sont présentées dans le tableau 18.

F750, pero no se da el mismo efecto en las formulaciones F10 F600, F11 F600, F12 F600, F13 F700, F16 F750, F18 F650, F19 F650 Y F20 F550, los datos se presentan en la tabla 18.

Lo anterior da una hipótesis de que el tiempo de desmolde en los cilindros afecta el comportamiento de la densidad del material, entre menos tiempo con el molde tenga el cilindro o espécimen menor será su densidad a los 28 días con respecto a un cilindro o espécimen de su misma formulación y producción, pero que ha pasado más tiempo con el molde, ya que el molde le permite mantenerse hidratado por más tiempo.

No obstante, el tiempo de desmolde no afecta directamente en obtener una menor resistencia a la compresión, es decir, por tener un cilindro con el molde más tiempo que otro de su misma formulación y producción, no garantiza que va a tener mayor resistencia ante la compresión.

Se plantea esta hipótesis, pero se discutirá nuevamente cuando se analicen los resultados de densidades y resistencias a la compresión de las formulaciones F21, F22, F23 y F23 que comparte diferencia en tiempos de desmolde de los cilindros, no obstante, no se ingresaron al horno.

Continuando con la discusión de los resultados de las formulaciones F600, F700, F750, F650 y F550, se tiene:

Para la formulación F600, relación Ligante/Granular: 5,31 (600 kg de ligante/113 kg de cáscara de arroz), se tiene F10 F600, F11 F600 y F12 F600 el promedio de las densidades iniciales de los seis cilindros elaborados para cada una de estas formulaciones fue de: 1 568, 1 730, 1 718 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

Para las formulaciones F10, F11 y F12, la diferencia porcentual del promedio de densidad antes del ensayo de compresión a los 28 días de los cilindros (N2 y N3) desmoldados a los 21 días e ingresados al horno por 7 días contra el valor de la densidad antes del ensayo del cilindro (N1) desmoldado con 1 día de edad e ingresado al horno por 7 días antes del ensayo, es de: 4,41 %, 2,21 % y 4,93 % respectivamente. Los datos de las densidades se muestran en la tabla 19.

Por otro lado, las densidades antes del ensayo de compresión a los 28 días varían con respecto a la densidad final teórica, porcentualmente en:

- F10: cilindro desmoldado con un día de edad (N1), diferencia de 11,95 %. Cilindros desmoldados a los 21 días (N2 y N3), diferencia de 7,89 %.

Ce qui précède donne l'hypothèse que le temps de démoulage dans les cylindres affecte le comportement de la densité du matériau, moins le temps avec le moule est élevé, moins sa densité sera de 28 jours par rapport à un cylindre ou échantillon de Sa même formulation et production mais il a passé plus de temps avec le moule, car le moule permet de rester hydraté plus longtemps.

Cependant, le temps de démoulage n'affecte pas directement l'obtention d'une résistance à la compression inférieure, c'est-à-dire que le fait d'avoir un cylindre avec le moule plus long temps qu'un autre de sa même formulation et production, ne garantit pas qu'il aura une plus grande résistance à compression

Cette hypothèse est posée, mais elle sera discutée à nouveau lorsque les résultats des densités et des résistances à la compression des formulations F21, F22, F23 et F23 seront analysés, qui partagent une différence de temps de démoulage des cylindres, mais n'ont pas été entrés dans le four.

En poursuivant la discussion des résultats des formulations F600, F700, F750, F650 et F550, on a:

Pour la formulation F600, le rapport Liant/Granulaire: 5,31 (600 kg de liant/113 kg de cosse de riz), F10 F600, F11 F600 et F12 F600 ont la moyenne des densités initiales des six cylindres fabriqués pour chacun L'une de ces formulations était respectivement de 1 568, 1 730 et 1 718 kg/m<sup>3</sup>.

Pour les formulations F10, F11 et F12, la différence en pourcentage de la densité moyenne avant l'essai de compression à 28 jours des cylindres (N2 et N3) démoulés à 21 jours et placés au four pendant 7 jours contre la valeur de la densité avant l'épreuve du cylindre (N1) démoulé à 1 jour et entrée au four pendant 7 jours avant l'épreuve, est respectivement de 4,41 %, 2,21 % et 4,93 %. Les données de densité sont présentées dans le tableau 19.

En revanche, les densités avant l'épreuve de compression à 28 jours varient par rapport à la densité théorique finale, pourcentage en:

- F10: Cylindre démoulé à un jour (N1), différence de 11,95 %. Cylindres démoulés à 21 jours (N2 et N3), différence de 7,89 %.
- F11: cylindre démoulé à un jour (N1), différence de 9,96 %. Cylindre démoli à 21 jours (N2 et N3), différence de 7,93 %.



- F11: cilindro desmoldado con un día de edad (N1), diferencia de 9,96 %. Cilindros desmoldados a los 21 días (N2 y N3), diferencia de 7,93 %
- F12: cilindro desmoldado con un día de edad (N1), diferencia de 9,80 %. Cilindros desmoldados a los 21 días (N2 y N3), diferencia de 5,12 %

Lo anterior muestra que las formulaciones F600 presentaron menores diferencias entre la densidad final teórica y la densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión de los 28 días, con respecto a las diferencias obtenidas en las formulaciones F500. De igual manera, las menores diferencias porcentuales, siguen siendo presentadas por los cilindros desmoldados a mayor edad de elaboración, se repite este fenómeno al igual que en las formulaciones F500.

Ahora, se compara el porcentaje de diferencia entre la densidad inicial de la formulación y la densidad final teórica, también se obtiene el porcentaje real de diferencia entre la densidad inicial y la densidad obtenida antes del ensayo de compresión a los 28 días, para las diferentes condiciones de desmolde (1 y 21 días).

Por lo que se tiene que:

- F10 F600:
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad final teórica: 16,77 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindro N1): 26,72 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindros N2 y N3): 23,34 %.
- F11 F600:
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad final teórica: 11,85 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindro N1): 20,64 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia

- F12: cylindre démoulé à un jour (N1), différence de 9,80 %. Cylindre démoli à 21 jours (N2 et N3), différence de 5,12 %.

Ce qui précède montre que les formulations F600 présentaient des différences plus faibles entre la densité finale théorique et la densité avant l'essai de résistance à la compression de 28 jours, par rapport aux différences obtenues dans les formulations F500. De même, les plus petits écarts en pourcentage continuent d'être présentés par les cylindres démoulés à un plus âge, ce phénomène se répète comme dans les formulations F500.

Maintenant, le pourcentage de différence entre la densité initiale de la formulation et la densité finale théorique est comparé, le pourcentage réel de différence entre la densité initiale et la densité obtenue avant l'essai de compression à 28 jours est également obtenu, pour les différents conditions de démoulage (1 et 21 jours).

Alors on a:

- F10 F600
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité finale théorique: 16,77 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindre N1): 26,72 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindres N2 et N3): 23,34 %.
- F11 F600
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité finale théorique: 11,85 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindre N1): 20,64 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindres N2 et N3): 18,84 %.
- F12 F600
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité

- F12 F600:
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad final teórica: 9,13 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindro N1): 18,04 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindros N2 y N3): 13,79 %.

Con esta información, al igual que en las formulaciones F500, se nota que los cilindros desmoldados a una edad mayor presentan menor diferencia, porcentualmente hablando, entre la densidad antes del ensayo de compresión de los 28 días y la densidad inicial, respecto a los que se desmoldaron con 24 horas de haberse elaborado. Aun así, la diferencia entre densidad inicial y la densidad final teórica, es menor en todos los casos que el porcentaje de diferencia entre la densidad inicial y la densidad práctica obtenida antes del ensayo de compresión de los 28 días, este mismo comportamiento se presentó en el grupo de formulaciones F500.

Con respecto a las resistencias obtenidas en el grupo de formulaciones F600, se nota que en todas ellas hay un aumento de resistencia a la compresión en el ensayo elaborado a los 28 días contra las resistencias obtenidas a los 7 días. Aun así, para los 28 días, el cilindro con mayor tiempo con el molde no siempre presenta mayor resistencia a la compresión que los cilindros que estuvieron con el molde solo un día, estos datos se presentaron en la tabla 18 y gráficamente en figura 55.

Lo que sigue reforzando que un desmolde a mayor edad del espécimen no afecta directamente a una mejora de la resistencia a la compresión, respecto a la obtenida por un espécimen desmoldado a menor edad. Pero el espécimen desmoldado a mayor edad sí tendrá mayor densidad a los 28 días que uno desmoldado a menor edad.

Entonces, si se sigue analizando los grupos de formulaciones F700, F750, F650 y F550 se destaca que en todas estas, sin importar la relación Agua/Ligante, se cumple que la densidad a los 28 días antes del ensayo de compresión siempre es mayor en los cilindros desmoldados

finale théorique: 9,13 %.

- Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindre N1): 18,04 %.
- Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindres N2 et N3): 13,79 %.

Avec ces informations, comme dans les formulations F500, on peut voir que les cylindres démoulés à un âge plus avancé présentent une différence plus faible, en pourcentage, entre la densité avant l'essai de compression de 28 jours et la densité initiale, par rapport à celles démoulées avec 24 heures de fabrication. Même ainsi, la différence entre la densité initiale et la densité finale théorique est dans tous les cas plus petite que le pourcentage de différence entre la densité initiale et la densité pratique obtenue avant l'essai de compression de 28 jours, ce même comportement a été présenté dans le groupe de formulations F500.

En ce qui concerne les résistances obtenues dans le groupe des formulations F600, on constate que dans chacune d'elles il y a une augmentation de la résistance à la compression dans l'essai effectué à 28 jours contre les résistances obtenues à 7 jours. Même ainsi, pendant 28 jours, le cylindre avec le plus long temps avec le moule n'a pas toujours une résistance à la compression plus élevée que les cylindres qui n'étaient avec le moule que pendant une journée, ces données ont été présentées dans le tableau 18 et graphiquement dans la figure 55.

Ce qui continue de renforcer qu'un démoulage à un âge plus avancé du spécimen n'affecte pas directement une amélioration de la résistance à la compression, par rapport à celle obtenue par un échantillon démoulé à un âge plus jeune. Mais le spécimen démoulé à un âge plus avancé aura une densité plus élevée à 28 jours qu'un spécimen démoulé à un âge plus jeune.

Ensuite, si les groupes de formulations F700, F750, F650 et F550 sont toujours analysés, il convient de noter que dans tous ceux-ci, quel que soit le rapport eau/liant, il est vrai que la densité à 28 jours avant l'essai de compression est toujours plus élevée en cylindres démoulés avec un âge d'élaboration plus ancien (21 jours) que les démoulages avec seulement 1 jour d'élaboration.

con mayor edad de elaboración (21 días) que los desmoldados con tan solo 1 día de elaboración.

Además, en todas estas formulaciones mencionadas, se tiene que la densidad final teórica es mayor que la densidad práctica a los 28 días. Esto deja en evidencia, para todas las formulaciones desde la F8 F500 hasta la F20 F550, que la cantidad de agua adherida al ligante que teóricamente es un 30 % de la masa del ligante utilizado en la mezcla (ecuación 8) fue inferior en todos los casos, esto se muestra gráficamente en las figuras 66, 67 y 68, teniendo porcentajes que van desde 8 % el más bajo (figura 66) hasta un 22 % (figura 67) el más alto y cercano al dato teórico.

Con respecto a las resistencias, en la mayoría de los casos se presenta un aumento de resistencia obtenido a los 28 días con respecto a la obtenida a los 7 días, solo hay tres casos en donde la resistencia a la compresión de los 28 días disminuyó con respecto a la obtenida a los 7 días, las formulaciones donde este caso se dio fueron F15 F700 A/L: 0,40 con una disminución de 5,97 %, F16 F750 A/L: 0,50 con una disminución de 7,41 % y F17 F750 A/L: 0,45 con una disminución de 6,66 %. La reducción siempre fue menor al 8 % en los casos de este tipo.

Ahora, se analizan los resultados obtenidos para las formulaciones F21 F280, F22 F300, F23 F320 y F24 F350, estas no se analizaron con las anteriores, debido que estas no se ingresaron al horno. Por lo que esto puede tener una incidencia diferente en la densidad de los cilindros desmoldados a diferentes edades y, además, las resistencias a la compresión obtenidas en diferentes tiempos de estudio.

Se obtuvo una densidad inicial de la mezcla de: 1 012, 1 075, 1 137 y 1233 kg/m<sup>3</sup> respectivamente para las formulaciones F21 F280, F22 F300, F23 F320 y F24 F350. Inicialmente, se esperaba que la diferencia porcentual entre la densidad inicial y la densidad final teórica para estas formulaciones fuese de: 5,14 %, 10,70 %, 10,82 % y 10,95 %.

Igualmente, de los 6 cilindros elaborados tres se tomaron para el ensayo de resistencia a la compresión a 7 días y los otros tres para el ensayo a los 28 días. De los destinados al ensayo de compresión a los 28 días, se desmoldó uno con 24 horas de haber elaborado y los otros dos a los 28 días.

De plus, dans toutes ces formulations mentionnées, la densité finale théorique est supérieure à la densité pratique à 28 jours. Cela montre, pour toutes les formulations de F8 F500 à F20 F550, que la quantité d'eau adhérent au liant qui est théoriquement 30 % de la masse du liant utilisé dans le mélange (équation 8) était plus faible dans tous cas, cela est illustré graphiquement dans les figures 66, 67 et 68, avec des pourcentages allant de 8 % le plus bas (figure 66) à 22 % (figure 67) le plus élevé et le plus proche des données théoriques.

En ce qui concerne la résistance, dans la plupart des cas, il y a une augmentation de la résistance obtenue à 28 jours par rapport à celle obtenue à 7 jours, il n'y a que trois cas où la résistance à la compression de 28 jours a diminué par rapport à celle obtenue à 7 jours, les formulations où ce cas s'est produit étaient F15 F700 E/L: 0,40 avec une diminution de 5,97 %, F16 F750 E/L: 0,50 avec une diminution de 7,41 % et F17 F750 E/L: 0,45 avec une diminution de 6,66 %. La réduction était toujours inférieure à 8% dans les cas de ce type.

Maintenant, les résultats obtenus pour les formulations F21 F280, F22 F300, F23 F320 et F24 F350 sont analysés, ceux-ci n'ont pas été analysés avec les précédents, car ceux-ci n'ont pas été introduits dans le four. Par conséquent, cela peut avoir un impact différent sur la densité des cylindres démoulés à différents âges et également sur les résistances à la compression obtenues à différents moments d'étude.

Une densité initiale du mélange a été obtenue: 1 012, 1 075, 1 137 et 1233 kg/m<sup>3</sup> respectivement pour les formulations F21 F280, F22 F300, F23 F320 et F24 F350. Initialement, la différence en pourcentage entre la densité initiale et la densité finale théorique pour ces formulations devait être de 5,14 %, 10,70 %, 10,82 et 10,95 %.

De même, sur les 6 cylindres fabriqués, trois ont été pris pour l'essai de résistance à la compression de 7 jours et les trois autres pour l'essai de 28 jours. Parmi ceux destinés au test de compression à 28 jours, l'un a été démoulé avec 24 heures d'élaboration et les deux autres à 28 jours.

Par conséquent, la différence en pourcentage entre la densité initiale et la densité avant l'essai de 28 jours, pour les formulations susmentionnées et selon le type de démoulage, est maintenant discutée.

Por lo que ahora se discute la diferencia porcentual entre la densidad inicial y la densidad antes del ensayo de los 28 días, para las formulaciones antes mencionadas y según tipo de desmolde.

- F21 F280:
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad final teórica: 5,14 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindro N1): no se obtuvo por que el cilindro, al tratar de desmoldarse con 24 horas de haber elaborado se fracturó durante el proceso, ver figura 51.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindros N2 y N3): 11,86 %.
- F22 F300:
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad final teórica: 10,70 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindro N1): 24,93 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindros N2 y N3): 10,88 %.
- F23 F320:
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad final teórica: 10,82 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindro N1): 21,20 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindros N2 y N3): 10,74 %.
- F21 F280:
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité finale théorique: 5,14 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindre N1): elle n'a pas été obtenue car le cylindre, en essayant de démouler avec 24 heures d'élaboration, s'est fracturé au cours du processus, voir figure 51.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindres N2 et N3): 11,86 %.
- F22 F300:
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité finale théorique: 10,70 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindre N1): 24,93 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindres N2 et N3): 10,88 %.
- F23 F320:
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité finale théorique: 10,82 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindre N1): 21,20 %.
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindres N2 et N3): 10,74 %.
- F24 F350:
  - Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité finale théorique: 10,95 %.

- F24 F350:
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad final teórica: 10,95 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindro N1): 20,60 %.
  - Diferencia entre densidad inicial de la formulación y densidad antes del ensayo de resistencia a la compresión 28 días (cilindros N2 y N3): 9,57 %.

De lo anterior se puede concluir que la formulación que más diferencia porcentual tuvo entre la densidad final teórica y la densidad práctica obtenida antes del ensayo de compresión de los 28 días, fue la F21 F280 CEM II 32,5. Mientras que las formulaciones F22, F23 Y F24 tuvieron un comportamiento similar, se esperaba que la diferencia porcentual entre la densidad inicial y la densidad final teórica fuese de 10,70, 10,82 y 10,95 % respectivamente y se obtuvieron porcentajes de diferencia entra la densidad inicial de la mezcla y la densidad práctica muy cercanas a estos valores, pero solamente en los cilindros desmoldados con mayor edad (28 días), en los cilindros desmoldados con tan solo 24 horas de edad se notó que la diferencia entre la densidad inicial de la mezcla y la densidad final práctica fue mayor a lo que teóricamente se esperaba.

Se puede notar, en la figura 69, que los porcentajes de agua adherida al cemento para las formulaciones mencionadas, están muy cercanos al 30 % teórico propuesto por el ligante utilizado, para los cilindros desmoldados a los 28 días de edad, el rango estuvo entre (27 a 33 %), pero bajo para los desmoldados con 1 día de edad (3 a 13 %)

Entonces, desmoldar los especímenes con menor edad genera una menor densidad a los 28 días que los especímenes que se desmoldan con mayor edad. También, se puede notar que este mismo efecto ocurrió en las formulaciones F8 hasta la F20 como anteriormente se analizó, pero las formulaciones de la F21 hasta la F24 muestran menor diferencia entre la densidad final teórica y la densidad antes del ensayo de compresión a los 28 días, puesto que éstas no se ingresaron al horno, lo que indica que para especímenes de bio-concreto con cáscara de arroz no es recomendable ingresarlos al horno

- Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindre N1): 20,60 %.
- Différence entre la densité initiale de la formulation et la densité avant l'essai de résistance à la compression 28 jours (cylindres N2 et N3): 9,57 %.

D'après ce qui précède, on peut noter que la formulation avec la différence en pourcentage la plus élevée entre la densité finale théorique et la densité pratique obtenue avant le test de compression de 28 jours était F21 F280 CEM II 32,5.

Alors que les formulations F22, F23 et F24 avaient un comportement similaire, la différence en pourcentage entre la densité initiale et la densité finale théorique devrait être respectivement de 10,70, 10,82 et 10,95 % et des pourcentages de différence ont été obtenus. Entre la densité initiale du mélange et la densité pratique très proches de ces valeurs, mais uniquement dans les cylindres démoulés avec un âge supérieur (28 jours), dans les cylindres démoulés avec seulement 24 heures d'âge, il a été remarqué que la différence entre la densité initial du mélange et la densité finale pratique étaient plus élevés que prévu théoriquement.

On peut voir, sur la figure 69, que les pourcentages d'eau adhérent au ciment pour les formulations précitées, sont très proches des 30 % théoriques proposés par le liant utilisé, pour les cylindres démoulés à 28 jours d'âge, la fourchette était comprise entre (27 à 33 %), mais bas pour les démoulages à 1 jour (3 à 13 %).

Ensuite, le démoulage des échantillons avec un âge inférieur génère une densité inférieure à 28 jours que les spécimens qui se démoulent avec un âge plus élevé. De plus, on peut noter que ce même effet s'est produit dans les formulations F8 à F20 comme précédemment analysé, mais les formulations dans F21 jusqu'à

les F24 montrent une différence plus petite entre la densité théorique finale et la densité avant le test de compression à 28 jours, car celles-ci n'ont pas été introduites dans le four, ce qui indique que pour les spécimens de bio-béton avec des balles de riz, il n'est pas recommandé de les saisir cuit avant l'essai de compression comme indiqué par le Protocoles d'essais pour mesurer la performance de seuils des bétons de chanvre, si on veulent

antes del ensayo de compresión como lo indica el Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo, si se quiere tener una densidad final práctica a los 28 días cercana a la final teórica.

Era importante hacer este análisis, debido que se está tomando como referencia el protocolo que se utiliza para los bio-concretos con cáñamo, ya que este material es lo más similar al que se estudia en este proyecto, por lo que si el protocolo es tomado como base, pero no se trata del mismo material en estudio, se debe descartar o aceptar los procedimientos que se indican en este, puesto que la idea es generar un protocolo de producción propio para el bio-concreto con cáscara de arroz.

Ahora, con respecto a las resistencias, obtenidas para las formulaciones F21 F280, F22 F300, F23 F320 y F24 F350, en todos los casos siempre se presentó un aumento de la resistencia a la compresión de los 28 días con respecto a la resistencia obtenida a los 7 días, como se mostró en la tabla 18.

Además, se puede notar desde la formulación F22 hasta la F24, se mantiene una resistencia a la compresión a los 28 días muy cercana o la misma en los cilindros que fueron desmoldados con 1 día (N1) con respecto a los que desmoldados a los 28 días (N2 y N3).

Lo que refuerza lo anteriormente planteado con las primeras formulaciones, en donde se decía, que el desmolde de los especímenes a edades tempranas no afecta directamente la resistencia a la compresión obtenida con respecto a otros especímenes desmoldados con mayor edad, esto solo afectará la densidad final obtenida entre los especímenes la cual será menor para los especímenes desmoldados con menor edad.

Además, como parte importante de los resultados de la realización de las diferentes dosificaciones y los diferentes tiempos de desmolde, se tiene el comportamiento que sufrieron los especímenes desmoldados con menor edad. En la figura 50 se muestran, los cilindros desde la formulación F8 hasta la F20 desmoldados con un día de haberse elaborado, se nota que todos los cilindros tienen una buena respuesta al quitarles el molde, se mantienen íntegros y las irregularidades que presentan son meramente del acomodo del material a la hora de haber compactado en el proceso de elaboración.

Por otro lado, en la figura 51, se muestran

avoir une densité finale pratique à 28 jours proche de la finale théorique.

Il était important de faire cette analyse, car le protocole de le bio-béton avec du chanvre a été pris comme référence pour être pour un matériau similaire au matériau étudié dans ce projet, donc si le protocole est pris comme base il ne s'agit pas du même matériau à l'étude, les procédures indiquées dans ce document doivent être rejetées ou acceptées, car l'idée est de générer un protocole de production propriétaire pour le bio-béton avec de la balle de riz.

En ce qui concerne les résistances, obtenues pour les formulations F21 F280, F22 F300, F23 F320 et F24 F350, dans tous les cas il y a toujours eu une augmentation de la résistance à la compression des 28 jours par rapport à la résistance obtenue à 7 jours, comme indiqué dans le tableau 18.

De plus, on peut remarquer de la formulation F22 à F24, une résistance à la compression est maintenue à 28 jours très proche ou la même dans les cylindres qui ont été démoulés à 1 jour (N1) par rapport à ceux qui ont été démoulés à 28 jours (N2 et N3).

Ce qui renforce ce qui précède avec les premières formulations, où il a été dit, que le démoulage des échantillons à un âge précoce n'affecte pas directement la résistance à la compression obtenue par rapport aux autres échantillons démoulés avec un âge plus élevé, cela n'affectera que la densité finale obtenu parmi les spécimens qui seront plus petits pour les spécimens démoulés avec un âge plus jeune.

Ce qui renforce ce qui précède avec les premières formulations, où il a été dit, que le démoulage des échantillons à un âge précoce n'affecte pas directement la résistance à la compression obtenue par rapport aux autres échantillons démoulés avec un âge plus élevé, cela n'affectera que la densité finale obtenu parmi les spécimens qui seront plus petits pour les spécimens démoulés avec un âge plus jeune.

De plus, comme une partie importante des résultats de la réalisation des différents dosages et des différents temps de démoulage, il y a le comportement présenté par les spécimens non moulés avec un âge plus jeune. La figure 50 montre, les cylindres de la formulation F8 au F20 démoulés avec un jour de fabrication, il est à noter que tous les cylindres ont une bonne réponse lorsque le moule est retiré, ils restent intacts et les irrégularités qu'ils présentent ne sont que de

los cilindros N1 (desmolde a las 24 horas) y se nota que para la formulación F21 F280 el cilindro se fisuró, dando una respuesta negativa al momento de desmolde. El cilindro F22 N1, no se fisuró al ser desmoldado, pero en la parte inferior parte del material se desprendió al tratar de quitar el molde lo que generó una pérdida del material en una pequeña zona del cilindro, finalmente, se tiene evidencia del cilindro F23 N1, el cual quedó totalmente integro al momento de quitarle el molde con 1 día de haberse elaborado.

De lo anterior se denota que las formulaciones de bio-concreto con cáscara de arroz, que tienen una relación Ligante/Granular de 2,48 a menos, tienen a tener problemas si se desmoldan a temprana edad, o al menos, no se recomienda desmoldar este tipo de formulaciones con 1 día de haberse elaborado.

Por otro lado, sobre los tipos de fallas presentadas en los cilindros ensayados a compresión a los 7 y 28 días, se puede notar que se presentó una falla que se repitió en todos los grupos de formulaciones desde la F8 hasta la F20, por ejemplo si se nota en las figuras 71, 72, 73, 74 y 75 se nota que hay una aglomeración de grietas en un tercio repetitivo, en todos estos cilindros se presentó siempre en el tercio de menor compactación de la elaboración de estos.

En algunos casos, como el de los cilindros de los grupos F500 y F600, las grietas aparecieron en este tercio y no solían expandirse más de la mitad del cilindro, mientras que el tercio inferior no se presentaron grietas visibles al momento de la falla. Mientras que para los cilindros de los grupos de formulación F700 y F750, presentaron las grietas en el tercio que menor compactación tuvo, pero las grietas sí avanzaron a lo largo del cilindro, en algunos casos por ejemplo en la F16 (figura 110) las grietas aparecieron en toda la superficie del cilindro.

Las grietas expandiéndose por todos los tercios de los cilindros, de las formulaciones F700 y F750, pueden darse debido que son las formulaciones que mayor contenido de cemento tienen y, a su vez, aumenta la rigidez del espécimen. Se puede evidenciar, en la tabla 20, que estas formulaciones son las que tienen mayor módulo de elasticidad aparente y, a su vez, menores deformaciones para el promedio de la resistencia a la compresión máxima obtenida.

Asimismo, en dicha tabla, se nota que las formulaciones F21, F22, F23 y F24 son las que menor cantidad de cemento tienen y, al mismo

disposición de materiales una vez compactada en el proceso de fabricación.

En revanche, sur la figure 51, les cylindres N1 (démoulage à 24 heures) sont représentés et on constate que pour la formulation F21 F280 le cylindre s'est fissuré, donnant une réponse négative au moment du démoulage. Le cylindre F22 N1, ne s'est pas fissuré lors de son démoulage, mais dans la partie inférieure du matériau s'est détaché lors de la tentative de retrait du moule ce qui a généré une perte de matériau dans une petite zone du cylindre, enfin, il existe des preuves du cylindre F23 N1 qui était entièrement intégré au moment du retrait du moule avec 1 jour de fabrication.

De ce qui précède, il est noté que les formulations de bio-béton avec des balles de riz, qui ont un rapport Liant / Granulat de 2,48 au moins, ont des problèmes si elles sont démoulées à un âge précoce, ou du moins, ce n'est pas recommandé de démouler ce type de formulations avec 1 jour de préparation.

En revanche, sur les types de défaillances présentées dans les cylindres testés pour la compression à 7 et 28 jours, on peut noter qu'il y a eu une rupture qui s'est répétée dans tous les groupes de formulations de F8 à F20, par exemple comme on le montre sur les figures 71, 72, 73, 74 et 75 qu'il est noté qu'il y a une agglomération de fissures dans un tiers répétitif, dans tous ces cylindres, c'était toujours en le tiers qui moins de compactage reçu lors de l'élaboration du cylindre.

Dans certains cas, comme celui des cylindres des groupes F500 et F600, les fissures sont apparues dans ce tiers et ne dilataient généralement pas plus de la moitié du cylindre, tandis que le tiers inférieur ne présentait pas de fissures visibles au moment de la défaillance. Pour les cylindres des groupes de formulation F700 et F750, ils présentaient les fissures dans le troisième qui avaient moins de compactage, mais les fissures ont avancé le long du cylindre, dans certains cas par exemple dans F16 (figure 110) les fissures est apparue sur toute la surface du cylindre.

Les fissures qui se dilatent à travers les tiers des cylindres des formulations F700 et F750 peuvent se produire car ce sont les formulations qui ont la plus forte teneur en ciment, ce qui à son tour augmente la rigidité de l'échantillon. On peut mettre en évidence, dans le tableau 20, que ces formulations sont celles qui présentent le plus grand module d'élasticité apparente et en même



tiempo las que menor módulo de elasticidad aparente reportan y mayores deformaciones para la resistencia a la compresión máxima reportada, esta información respalda el tipo de falla de los cilindros de estas formulaciones, debido que se puede observar en la figura 112, son los cilindros que más deformaciones presentan visualmente, en vez de grietas bien definidas como las de los otros grupos de formulaciones. Para el cilindro de la F21 es evidente la reducción de altura que tuvo, debido a la falla ante la compresión.

Por lo que se puede respaldar que entre más cemento se le agregue a las formulaciones, mayor será la tendencia a tener una falla frágil, siguiendo la naturaleza de los concretos hidráulicos convencionales.

Todo los resultados anteriores, más los mínimos de resistencia a la compresión y el valor de módulo de elasticidad con los que se debía de cumplir conforme a las normativas de interés para cada país, fueron la base de escogencia de las formulaciones con las que se realizarían los especímenes, tipo cilindros, prismas y bloques para caracterizar las formulaciones propuestas para la realización de bloques no estructurales.

La resistencia a la compresión con la que se basó la escogencia inicial fue con la resistencia obtenida a los 7 días, ya que por la naturaleza de la investigación, el tiempo era limitado y se esperaba que si a los 7 días ya se cumplía con la resistencia mínima demanda, a los 28 se obtendría una resistencia que igual cumpliría. Como se mostró anteriormente esto sí se cumplió.

Por lo que, finalmente, la formulación escogida para la realización de los bloques propuestos para Francia fue la F22, dándole una variación en la relación Agua/Liante por tema de trabajabilidad, renombrando a la formulación de la siguiente manera:

FFR: F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66.

Por otro lado, la formulación escogida para la realización de los bloques propuestos para Costa Rica fue la F12, renombrándola de la siguiente manera:

FCR: F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45.

Esto debido a que, con estas formulaciones a los 7 días ya se cumplía con los requisitos que las normas y protocolos tomados como exigencia técnica para el material. Datos mostrados en la tabla 20.

temps moins de déformations pour la moyenne de la résistance maximale à la compression obtenue.

De même, dans ce tableau, il est noté que les formulations F21, F22, F23 et F24 sont celles qui contiennent le moins de ciment, et à leur tour, ont le moins le module d'élasticité apparent signalé et les déformations les plus élevées pour la résistance à la compression maximale rapportée, cette information prend en charge le type de défaillance des cylindres de ces formulations, car comme on peut le voir sur la figure 112, ce sont les cylindres qui présentent le plus des déformations visuellement, au lieu de fissures bien définies comme celles des autres groupes de formulations. La réduction de la hauteur du cylindre F21 est évidente en raison de la faute de compression.

Par conséquent, il peut être soutenu que plus il y a de ciment ajouté aux formulations, plus la tendance à avoir une rupture fragile est grande, suivant la nature des bétons hydrauliques conventionnels.

Tous les résultats précédents, plus la résistance minimale à la compression et la valeur du module d'élasticité à respecter conformément aux réglementations d'intérêt pour chaque pays, ont servi de base au choix des formulations avec lesquelles ils seraient réalisés les éprouvettes, type cylindres, prismes et blocs pour caractériser les formulations proposées pour la réalisation de blocs non structuraux.

La résistance à la compression sur laquelle était basé le choix initial était à la résistance obtenue à 7 jours, car en raison de la nature des travaux de recherche, le temps était limité et il était prévu qu'à 7 jours la résistance à compression minimale serait accompli, donc à 28 jours aussi.

Donc, enfin, la formulation choisie pour la réalisation des blocs proposés pour la France était le F22, lui donnant une variation de la relation Eau/Liant avoir une meilleure maniabilité, renommez la formulation comme suit:

FFR: F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66.

En revanche, la formulation choisie pour la réalisation des blocs proposés pour le Costa Rica était le F12, en le renommant comme suit:

FCR: F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45.

Donc avec ces formulations à 7 jours, les exigences des normes et protocoles considérées comme une exigence technique pour le matériel étaient déjà respectées. Données présentées dans le tableau 20.

## Elementos fabricados con formulaciones FCR y FFR

Se inició con la elaboración de cilindros de bio-concreto con las formulaciones escogidas, puesto que se compararía si los primeros resultados de resistencia a la compresión obtenidos se volvían a repetir, al volver a elaborar cilindros con las formulaciones escogidas y esta vez elegir un mismo tiempo de desmolde para todos los especímenes y con esto tener los resultados de densidad y resistencia sin tanta desviación como cuando se estudió las dosificaciones.

Se tiene, por lo tanto, para la formulación escogida para la elaboración de los bloques no estructurales para Costa Rica, que, de un total de 15 cilindros elaborados. Donde 9 cilindros fueron escogidos para realizar el ensayo de compresión a las edades de 7, 28 y 60 días, ciertamente, el de 60 días no se logró realizarlo en la fecha exacta de 60 días por un asunto de disponibilidad del laboratorio, por lo que se realizó a los 77 días.

Se tiene, por lo tanto, el resultado de las densidades iniciales de los cilindros, en la tabla 21 se muestran estos valores, y se nota que las densidades van desde los 1 407 hasta 1 468 kg/m<sup>3</sup> teniendo una variación del 4,15 % entre estos valores extremos, lo cual indica que el dato de densidad inicial entre los cilindros elaborados no tuvieron una variación mayor al 5 % entre sí.

Al comparar estos valores con los obtenidos con la formulación F12, de la cual se presentan los resultados en la tabla 20, se nota que el promedio de las densidades iniciales reportadas es de 1 408 a 1 481 kg/m<sup>3</sup>, estos valores son cercanos a los obtenidos nuevamente por los cilindros elaborados por segunda vez para el ensayo de resistencia a la compresión.

Para la formulación escogida para la elaboración de los bloques no estructurales para Francia, igualmente, se elaboraron 15 cilindros y se tomaron 9 de estos para el ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 28 y 60 días, como se mencionó anteriormente la disponibilidad del laboratorio generó que se realizara el ensayo a 77 días y no a 60.

La densidad de estos cilindros tomados para este ensayo mecánico de resistencia a la compresión, tuvieron un valor mínimo de 849 kg/m<sup>3</sup> y un máximo de 893 kg/m<sup>3</sup>, teniendo una variación entre estos datos de un 4,93 %. Igualmente la variación fue menor a un 5 % entre

## Éléments fabriqués avec des formulations FCR et FFR

Cette phase d'étude a débuté avec la réalisation de cylindres en bio-béton avec les formulations choisies, avec pour objectif d'observer si les premiers résultats de résistance à la compression obtenus se répétaient, lors de la reproduction de cylindres avec les formulations choisies et cette fois, en choisissant le même temps de démoulage pour tous les cylindres et avec cela les résultats de densité et de résistance sans autant d'écart que lorsque les formulations ont été étudiés dans la première phase.

Il y a ensuite, pour la formulation choisie pour la préparation de blocs non structurels pour le Costa Rica, un total de 15 cylindres fabriqués. Lorsque 9 cylindres ont été choisis pour effectuer le test de compression aux âges de 7, 28 et 60 jours, certainement, celui de 60 jours n'a pas pu le réaliser à la date exacte de 60 jours en raison d'un problème de disponibilité en laboratoire, donc cela a été fait à 77 jours.

C'est alors le résultat des densités initiales des cylindres, ces valeurs sont reportées dans le tableau 21, et on constate que les densités vont de 1 407 à 1 468 kg/m<sup>3</sup> ayant une variation de 4,15 % entre ces des valeurs extrêmes, ce qui indique que les données de densité initiales entre les cylindres produits n'ont pas varié de plus de 5 % les unes des autres.

En comparant ces valeurs avec celles obtenues avec la formulation F12, dont les résultats sont présentés dans le tableau 20, on constate que la moyenne des densités initiales rapportées est de 1 408 à 1 481 kg/m<sup>3</sup>, ces valeurs sont proches de celles obtenues à nouveau par les cylindres ont fait une seconde fois l'essai de résistance à la compression.

Pour la formulation choisie pour l'élaboration des blocs non structuraux pour la France, 15 cylindres ont également été fabriqués et 9 d'entre eux ont été prélevés pour le test de résistance à la compression à 7, 28 et 60 jours, et en raison d'indisponibilité au laboratoire, test a été effectué à 77 jours et non à 60.

La densité de ces cylindres prise pour cet essai mécanique de résistance à la compression, avait une valeur minimale de 849 kg/m<sup>3</sup> et un maximum de 893 kg/m<sup>3</sup>, avec une variation entre ces données de 4,93%. De même, la variation était inférieure à 5% entre les densités des cylindres

las densidades iniciales de los cilindros escogidos para el ensayo.

Este rango de densidades presentada por estos especímenes no varía a la obtenida por los cilindros elaborados por primera vez con la formulación F22 y que sus resultados se muestran en la tabla 20, para estos primeros cilindros se obtuvo un rango de las densidades iniciales reportadas de 807 a 958 kg/m<sup>3</sup>. Se nota que el rango de las densidades iniciales de los nuevos cilindros estudiados en la formulación FFR está dentro del rango de las densidades iniciales obtenidas cuando se estudió la formulación F22.

Por lo tanto, para ambas formulaciones escogidas para la elaboración de los bloques se tiene una constancia en el resultado de las densidades iniciales de las mezclas elaboradas, en diferentes tiempos.

Volviendo a los demás resultados obtenidos durante los ensayos de resistencia a la compresión sobre los cilindros de la formulación FCR, se tiene en la tabla 21, la resistencia a la compresión máxima obtenida por cada cilindro a los 7, 28 y 77 días. Se resalta el hecho de que se da un aumento de la resistencia a la compresión entre los resultados obtenidos a los 28 días contra los obtenidos a los 7 días, asimismo, un aumento de esta resistencia obtenida a los 77 días contra la obtenida a los 28 días.

El aumento en dicha resistencia, porcentualmente entre el promedio de los resultados, ver tabla 23, es de 29,17 % entre la obtenida a los 28 días contra la obtenida a los 7 días y un aumento del 12,73 % entre la obtenida a los 77 días contra la obtenida a los 28 días. Lo que refuerza la decisión de usar cemento tipo II si se requiere que los especímenes desarrollen mayores resistencias a la compresión a edades tempranas, ya que, si se tomara hipotéticamente el valor obtenido a los 77 días como el máximo el cual fue de 5,5 MPa, a los 7 días se desarrolla un 61,81 % del total de la resistencia y a los 28 días se desarrolla un 87,27 % del total.

Por otro lado, siguiendo lo indicado en la norma INTE C89-2017, todos los cilindros cumplen con el mínimo de resistencia a la compresión demanda para cada muestra individual. Ciertamente, la norma habla de especímenes tipo bloques, primero se decidió estudiar la respuesta que tendrían especímenes tipo cilindros ante la compresión para estimar cuánto podría ser la resistencia a la compresión de especímenes tipo bloques mediante la ecuación 13 presentada en el

choisis pour l'essai.

Cette gamme de densités présentée par ces échantillons ne diffère pas de celle obtenue par les cylindres fabriqués pour la première fois avec la formulation F22 et que leurs résultats sont présentés dans le tableau 20, pour ces premiers cylindres, une gamme des densités initiales déclarées de 807 a été obtenue à 958 kg/m<sup>3</sup>. Il est à noter que la gamme des densités initiales des nouveaux cylindres étudiés dans la formulation FFR est dans la gamme des densités initiales obtenues lors de l'étude de la formulation F22.

Par conséquent, pour les deux formulations choisies pour l'élaboration des blocs, il y a une constance dans les résultats des densités initiales des mélanges élaborés, à différents moments.

Pour revenir aux autres résultats obtenus lors des tests de résistance à la compression sur les cylindres de la formulation FCR, la résistance maximale à la compression obtenue par chaque cylindre à 7, 28 et 77 jours est indiquée dans le tableau 21. On met en évidence le fait qu'il existe une augmentation de la résistance à la compression entre les résultats obtenus à 28 jours contre ceux obtenus à 7 jours, de même, une augmentation de cette résistance obtenue à 77 jours contre celle obtenue à 28 jours.

L'augmentation de ladite résistance, en pourcentage dans la moyenne des résultats, voir tableau 23, est de 29,17 % entre celle obtenue à 28 jours contre celle obtenue à 7 jours et une augmentation de 12,73 % entre celle obtenue à 77 jours contre celui obtenu à 28 jours. Ce qui renforce la décision d'utiliser du ciment de type II s'il est nécessaire sur les spécimens de développer des résistances à la compression plus élevées à un âge précoce, si la valeur obtenue à 77 jours a été prise hypothétiquement au maximum qui était de 5,5 MPa, après 7 jours, 61,81 % de la résistance totale se développe et après 28 jours, 87,27 % du total se développe.

En revanche, conformément à l'INTE C89-2017, tous les cylindres répondent à la résistance à la compression minimale requise pour chaque échantillon individuel. Certes, la norme parle d'échantillons de type bloc, il a d'abord été décidé d'étudier la réponse qui aurait des échantillons de type cylindre à la compression pour estimer la résistance à la compression des échantillons de type bloc par l'équation 13 présentée dans le cadre théorique et au préalable estimer si les blocs seraient conformes ou non à la

marco teórico y de antemano estimar si los bloques cumplirían o no con la normativa de interés.

Siguiendo los mismos mínimos de resistencia, establecidos en la norma INTE C89-2017, se tiene que el promedio mínimo de las resistencias a la compresión de las muestras estudiadas a los 7 días no cumple, ya que el obtenido por los cilindros es de 3,4 MPa a los 7 días y el indicado en la norma es de 4,14 MPa, por lo que se nota que a los 28 días sí se cumple con este promedio, pues el promedio de la resistencia a la compresión obtenida por los cilindros fue de 4,8 MPa. Lo que en primera instancia dio la seguridad de que los especímenes tipo bloques sí cumplirán con los mínimos establecidos en la norma.

Por otro lado, en la misma tabla 21, se muestra que módulo de elasticidad aparente para cada cilindro se nota que se da un aumento de este valor entre los resultados del ensayo realizado a los 28 días respecto a los resultados obtenidos a los 7 días, asimismo para los resultados obtenidos a los 77 días con respecto a los obtenidos a los 28 días. Se obtiene un valor mínimo de E: 475,5 MPa y un máximo de E: 623,8 MPa.

El progreso de las resistencias obtenidas y de las deformaciones obtenidas se muestran gráficamente en las figuras 82, 83 y 84.

En las figuras 78, 79 y 80 se puede apreciar la falla presentada en los cilindros de la formulación FCR CEM II 32,5 A/L: 0,45, la cual para el ensayo a los 7 días, se presentan grietas en el tercio que menor compresión tuvo al momento de la fabricación, luego en la falla que los cilindros presentaron a los 28 días, se logra apreciar de mejor manera las grietas en el cilindro, ya que estas fueron más anchas y grandes en estos especímenes, igualmente iniciaron por el tercio que menor compresión tuvo, pero estas se alargaron más en el cilindro y esto puede ser a su incremento de rigidez entre la edad de los 28 días a la obtenida a los 7 días. El mismo efecto de incremento en el grosor y tamaño de las grietas entre el ensayo a los 77 días y el ensayo a los 28 días, visualmente se puede apreciar en la figura 116 en donde el cilindro N10 presento una grieta que recorrió todo el espécimen.

Luego, con respecto a los resultados de los ensayos de compresión sobre cilindros de la formulación FFR CEM II 32,5 A/L: 0,66 a los 7, 28 y 77 días, estos igualmente tienen a presentar un

réglementation d'intérêt.

En suivant les mêmes minimums de résistance, établis dans la norme INTE C89-2017, il faut que la moyenne minimale des résistances à la compression des échantillons étudiés à 7 jours ne respecte pas puisque celle obtenue par les cylindres est de 3,4 MPa à 7 jours et celui indiqué dans la norme est de 4,14 MPa, il est donc à noter qu'à 28 jours cette moyenne est atteinte puisque la résistance moyenne à la compression obtenue par les cylindres était 4,8 MPa. Ce qui dans un premier temps a donné la sécurité, que les spécimens de type bloc seront conformes aux minimums établis dans la norme.

En revanche, dans le même tableau 21, il est montré que le module d'élasticité apparent pour chaque cylindre, on constate, qu'il y a une augmentation de cette valeur entre les résultats du test effectué à 28 jours par rapport aux résultats obtenus à 7 jours, ainsi que pour les résultats obtenus à 77 jours par rapport à ceux obtenus à 28 jours. Une valeur minimum de E: 475,5 MPa et un maximum de E: 623,8 MPa sont obtenues.

La progression des résistances obtenues ainsi que les déformations obtenues sont représentées graphiquement sur les figures 82, 83 et 84.

Les figures 78, 79 et 80 montrent la rupture présentée dans les cylindres de la formulation FCR CEM II 32,5 A/L: 0,45 qui pour le test à 7 jours, des fissures apparaissent dans le troisième que moins de compression avait au moment de la fabrication, puis dans la défaillance que les cylindres présentaient à 28 jours, il est possible de mieux apprécier les fissures dans le cylindre car celles-ci étaient de plus en plus larges dans ces exemplaires, elles ont également commencé par le troisième qui avait moins de compression mais ceux-ci étaient plus allongés dans le cylindre et cela peut être dû à son augmentation de la rigidité entre l'âge de 28 jours à celle obtenue à 7 jours. Le même effet d'augmentation de l'épaisseur et de la taille des fissures entre le test à 77 jours et le test à 28 jours, peut être vu sur la figure 116 où le cylindre N10 présentait une fissure qui traversait tout le cylindre.

Ensuite, en ce qui concerne les résultats des essais de compression sur les cylindres de la formulation FFR CEM II 32,5 E/L: 0,66 à 7, 28 et 77 jours, ils ont également une augmentation de la résistance à la compression avec respect de l'augmentation de l'âge des spécimens. Le tableau

aumento de la resistencia ante la compresión con respecto aumenta la edad de los especímenes. En la tabla 22, se muestran los resultados obtenidos por cada cilindro ensayado, se puede notar que a los 7 días, los cilindros ensayados arrojan resultados de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad aceptables para los mínimos establecidos en el Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo.

Ciertamente, el principal objetivo es que esta formulación cumpla con los mínimos para muros establecidos en el protocolo de interés, como se mostró en la tabla 3, son de 0,2 MPa de resistencia a la compresión y un módulo de elasticidad mínimo de 15 MPa, lo cual se cumple con los resultados obtenidos a los 7 días que el promedio de 0,4 MPa de resistencia a la compresión y un módulo de elasticidad aparente de 32,5 MPa. Por otro lado, se destaca que esta formulación cumple de manera satisfactoria, no solo los mínimos para muros, sino para los demás elementos como suelo, recubrimiento y techo que asimismo expone el protocolo usado como referencia, no limitando el uso de la formulación para el uso de muros en los bloques no estructurales, sino que se puede utilizar para varios fines como anteriormente se destacó.

Hablando porcentualmente el incremento que se presentó en los ensayos realizados sobre los cilindros de la formulación FFR y tomando como máximo hipotético la resistencia a la compresión obtenida a la edad de 77 días, se tiene que 0,9 MPa es el máximo. Así que, a los 7 días se desarrolla un 44,44 % del total y a los 28 días se desarrolla un 66,67 % del total de la resistencia.

Ciertamente, esta formulación presenta a los 7 días un menor desarrollo de resistencia a la compresión, porcentualmente hablando, que el presentado por los especímenes estudiados de la formulación FCR, pero se debe destacar que la formulación FFR usa la mitad de la masa de ligante por metro cúbico de cáscara de arroz no compactada que la formulación FCR lo que puede influir que al tener menor cantidad de ligante involucrado en la mezcla este no de un acelerado desarrollo de resistencias a la compresión de los 7 días, aun así, se cumple con los mínimos del protocolo tomado como interés de cumplimiento y a los 28 días se tiene desarrollado más del 50 % de resistencia a la compresión que esta dosificación puede ofrecer.

22 muestra los resultados obtenidos para cada cilindro testado, se puede notar que a los 7 días, los cilindros testados han dado resultados de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad aceptables para los mínimos establecidos en el protocolo de ensayo para la medición de la resistencia de los muros de concreto de cáñamo.

Ciertamente, el principal objetivo es que esta formulación cumpla con los mínimos para muros establecidos en el protocolo de interés, como se mostró en la tabla 3, son de 0,2 MPa de resistencia a la compresión y un módulo de elasticidad mínimo de 15 MPa, lo cual se cumple con los resultados obtenidos a los 7 días que el promedio de 0,4 MPa de resistencia a la compresión y un módulo de elasticidad aparente de 32,5 MPa. D'otra parte, se destaca que esta formulación cumple de manera satisfactoria, no solo los mínimos para muros, sino para los demás elementos como suelo, revestimiento y techo, sin limitar el uso de la formulación para la utilización de muros en los bloques no estructurales, sino que se puede utilizar para varios fines, como se indicó anteriormente.

Expresando en porcentaje el incremento que se presentó en los ensayos realizados sobre los cilindros de la formulación FFR y tomando como máximo hipotético la resistencia a la compresión obtenida a los 77 días, se tiene que 0,9 MPa es el máximo. Así que, a los 7 días se desarrolla un 44,44 % del total y a los 28 días se desarrolla un 66,67 % del total de la resistencia.

Ciertamente, esta formulación presenta a los 7 días un menor desarrollo de resistencia a la compresión, porcentualmente hablando, que el presentado por los especímenes estudiados de la formulación FCR, pero se debe destacar que la formulación FFR utiliza la mitad de la masa de ligante por metro cúbico de cáscara de arroz no compactada que la formulación FCR, lo que puede influir que al tener menor cantidad de ligante involucrado en la mezcla este no de un acelerado desarrollo de resistencias a la compresión de los 7 días, aun así, se cumple con los mínimos del protocolo tomado como interés de cumplimiento y a los 28 días se tiene desarrollado más del 50 % de resistencia a la compresión que esta dosificación puede ofrecer.

Ahora, se analizan los resultados obtenidos del ensayo de flexión realizado sobre los especímenes tipo prismas, en esta etapa, se ensayó un prisma de cada formulación propuesta para la elaboración de los bloques y, a su vez, se ensayaron 4 prismas provenientes del trabajo de investigación de Mardama Nayagom, las cuales tienen una cantidad de ligante de 300 kg/1 m<sup>3</sup> de cáscara de arroz no compactada y él vario la relación Agua/Ligante de estas formulaciones. El objetivo de ensayar estos 4 prismas más es comparar los resultados con el resultado obtenido por la formulación FFR, ya que no se tiene un mínimo por cumplir a flexión es bueno tener índices de comparación del comportamiento de otras formulaciones y mejor aún del mismo bio-concreto que utiliza la cáscara de arroz como agregado y no otra fibra natural.

En la tabla 24 se mostraron los resultados obtenidos para cada prisma ensayo, se nota que la edad de los prismas de las formulaciones FCR y FFR eran de 70 y 54 días respectivamente, esto debido a que en el ensayo de 28 días los datos no eran confiables, ya que la máquina a ese tiempo presentaba uno de los sensores dañados. Así que se solo se tiene el resultado de estas edades mencionadas, se nota que la densidad presentada por el prisma de la formulación FCR es 2,79 % por encima de la densidad inicial máxima obtenida por los cilindros elaborados con la misma formulación, este aumento de la densidad puede deberse a que en la elaboración de los prismas, por el tamaño y geometría del molde se dieron más golpes por capa y esto pudo provocar que el material se acomodara de manera más comprimida y se pudiera colocar más material en el molde que al final afectaría en la obtención de más densidad.

Por otro lado, la densidad para el prisma elaborado con la formulación FFR, está en el rango de las densidades iniciales de los cilindros estudiados con la misma formulación, la diferencia es que la densidad que se está reportando para los prismas es la densidad antes del ensayo de flexión así que la densidad de los prismas dio más elevada que la presentada en los cilindros. Se puede deber a una mayor compactación dada en el proceso de elaboración.

Por lo anterior, es importante pensar en un método más equitativo para la compactación de diferentes especímenes, donde se cambie el dispositivo utilizado, para proveer una misma compactación, aun así, se tienen diferentes geometrías en los especímenes.

Maintenant, les résultats obtenus à partir du test de flexion effectué sur les spécimens type prisme sont analysés, à ce stade, un prisme de chaque formulation proposée a été essayé pour l'élaboration des blocs et à son tour 4 prismes du travail de recherche de Mardama Nayagom ont été essayé, qui a une quantité de liant de 300 kg / 1 m<sup>3</sup> de balle de riz non compactée et il a fait varier le rapport Eau/Liant de ces formulations. L'objectif des tests de ces 4 prismes supplémentaires est de comparer les résultats avec le résultat obtenu par la formulation FFR, puisqu'il n'y a pas de minimum pour se conformer à la flexion, il est bon d'avoir des indices de comparaison du comportement d'autres formulations et encore mieux de la même bio-béton qui utilise la balle de riz comme agrégat et non une autre fibre naturelle.

Le tableau 24 montre les résultats obtenus pour chaque essai de prisme, il est à noter que l'âge des prismes des formulations FCR et FFR était respectivement de 70 et 54 jours, du fait que dans l'essai de 28 jours les données n'étaient pas fiable car la machine à l'époque avait l'un des capteurs endommagés. Donc, nous avons que le résultat de ces âges mentionnés, il est à noter que la densité présentée par le prisme de la formulation FCR est de 2,79 % supérieure à la densité initiale maximale obtenue par des cylindres fabriqués avec la même formulation, cette augmentation de la densité peut être due au fait que dans la préparation des prismes, en raison de la taille et de la géométrie du moule, plus de coups par couche ont été donnés et plus de matériau pourrait être placé dans le moule qui à la fin impliquerait l'obtention d'une plus grande densité.

En revanche, la densité du prisme réalisé avec la formulation FFR est dans la gamme des densités initiales des cylindres étudiés avec la même formulation, la différence est que la densité qui est rapportée pour les prismes est la densité avant essai de flexion donc la densité des prismes a donné plus élevée que celle présentée dans les cylindres. Cela peut être dû à une plus grande compaction donnée dans le processus de fabrication.

Par conséquent, il est important de penser à une méthode plus équitable pour compacter différents spécimens, où la façon dont cela est faite, pour fournir le même compactage même s'il y a des géométries ou tailles différentes dans les spécimens.

Volviendo a los resultados obtenidos de los prismas ensayados, se tiene una evidente diferencia en la fuerza de flexión soportada por el prisma de la formulación FCR con 17,97 kN contra los demás ensayados, el segundo prisma que más fuerza a la flexión soportó fue el de la formulación FFR con 6,00 kN, vemos que la diferencia porcentual entre estos dos especímenes es de 66,61 %.

Aun así, el rendimiento ante la flexión presentado en el espécimen de la formulación FFR estuvo mejor que el de los prismas con misma cantidad de Ligante por 1 m<sup>3</sup> de cáscara de arroz. Teniendo este espécimen menor edad que los demás por lo que su desempeño es notablemente mejor, debido a la limitación de cantidad de especímenes que se ensayaron, los resultados son únicos y no promediados por lo que se debería de repetir más veces para tener una conclusión con mayor respaldo estadístico.

Es importante recordar que todos los resultados del ensayo de flexión se deben atribuir directamente al material, ya que no se agregó ningún tipo de refuerzo para soportar las demandas de flexión que el espécimen sufriría durante el ensayo.

A continuación, se analizan los resultados obtenidos por los especímenes tipo bloques no estructurales elaborados con las formulaciones FCR y FFR. Se debe recordar que la elaboración de estos bloques fue totalmente manual y en el laboratorio del ENTPE, no se contó con ningún proceso industrializado para la realización de los bloques.

Para los bloques elaborados con la formulación FCR, el ensayo de compresión se realizó a los 78 días, los resultados se muestran en la tabla 25. Teniendo tres bloques ensayados, el que menor resistencia presentó fue de 9,9 MPa y el de mayor fue de 10,8 MPa.

El promedio de los tres bloques es de 10,4 MPa, cumpliendo así a los 78 días de edad correctamente con el mínimo establecido de 4,14 MPa por la norma INTE C89-2017 para el promedio de tres especímenes ensayados. Si bien es cierto, estos resultados mencionados anteriormente cumplen con la normativa, no obstante, son los resultados sin aplicarles el factor de corrección por forma que sugiere la norma ASTM C-129, al aplicarle el factor de: 0,75, se tiene que el promedio de la resistencia de los tres bloques ensayados es de 7,8 MPa, aun así, se obtiene un valor aceptable para la norma de INTECO, la cual

En revenant aux résultats obtenus à partir des prismes essayés, il y a une différence évidente dans la force de flexion supportée par le prisme de la formulation FCR avec 17,97 kN contre les autres essayés, le second prisme avec la plus grande résistance à la flexion supportée c'était de la formulation FFR avec 6,00 kN, nous voyons que la différence en pourcentage entre ces deux échantillons est de 66,61 %.

Malgré cela, les performances de flexion présentées dans l'échantillon de formulation FFR étaient meilleures que celles des prismes avec la même quantité de liant pour 1 m<sup>3</sup> de balle de riz. Ayant cet échantillon plus jeune que les autres, ses performances sont donc nettement meilleures, mais en raison de la limitation du nombre d'échantillons testés, les résultats sont uniques et ne sont pas moyennés, il doit donc être répété plusieurs fois pour conclure avec un plus grand support statistique.

N'oubliez pas que tous les résultats de l'essai de flexion doivent être attribués directement au matériau, car aucun renforcement n'a été ajouté pour supporter les exigences de flexion que l'échantillon subirait pendant l'essai.

Ensuite, les résultats obtenus par les spécimens de type bloc non structuraux préparés avec les formulations FCR et FFR sont analysés. Il faut rappeler que l'élaboration de ces blocs, était totalement manuelle et dans le laboratoire ENTPE, il n'y avait pas de processus industrialisé pour la réalisation des blocs.

Pour les blocs fabriqués avec la formulation FCR, l'essai de compression a été effectué à 78 jours, les résultats sont présentés dans le tableau 25. Après avoir essayé trois blocs, celui avec le moins de résistance était de 9,9 MPa et celui avec le plus haut 10,8 MPa.

La moyenne des trois blocs est de 10,4 MPa, respectant ainsi correctement à 78 jours d'âge le minimum établi de 4,14 MPa par la norme INTE C89-2017 pour la moyenne de trois échantillons essayés. Cependant, bien qu'il soit vrai que ces résultats mentionnés ci-dessus sont conformes à la réglementation, ce sont les résultats sans appliquer le facteur de correction comme suggéré par la norme ASTM C-129, lors de l'application du facteur de: 0,75. La résistance moyenne des trois blocs essayés est de 7,8 MPa, bien qu'une valeur acceptable pour la norme INTECO soit obtenue qui il est en vigueur pour être respecté pour les éléments de type bloc non structurel au Costa Rica.



está vigente a ser acatada para elementos no estructurales tipo bloques en Costa Rica.

El valor de 7,8 MPa permite cumplir con la clasificación para bloques estructurales propuestos por el Código Sísmico de Costa Rica 2010, el cual propone un mínimo para la resistencia a la compresión de 3 muestras ensayadas de 7,4 MPa (75 kg/cm<sup>2</sup>) para bloques tipo C. Para esta clasificación, el CSCR-10 pide que cada muestra individual cumpla con un mínimo de 6,9 MPa (70 kg/cm<sup>2</sup>) y todas las muestras individuales de bloques ensayadas a compresión de la formulación FCR dieron superior a este valor.

Sin embargo, el CSCR-10 indica estos mínimos de resistencia a cumplir a los 28 días de edad de los especímenes y los resultados obtenidos por los bloques ensayados se obtuvieron a los 78 días. Este dato es de suma importancia, ya que se debe hacer ensayos de la resistencia a la compresión con bloques de esta formulación a esta edad indicada y verificar el correcto cumplimiento con el mínimo impuesto para bloques tipo C del CSCR-10, para la norma de INTECO no se indica la edad pero también es recomendable tomar estos mínimos de resistencia a los 28 días de edad.

Luego, se puede observar el tipo de falla que presentaron los bloques FCR, desde la figura 130 hasta la 133. Se observa que las grietas que aparecieron concuerdan con el tipo de falla 7 presentada en la figura 11, llamada como separación de la cara (Face Shell Separation) expuesta en la norma ASTM C1314, además, en la parte superior del bloque, que fue la que menor compactación recibió en el proceso de elaboración se presentó un abultamiento del material y en algunas de estas zonas se empezó a desprender.

Desde la figura 134 hasta la 137, se muestran las curvas de resistencia a la compresión contra deformaciones sufridas por cada bloque y en la figura 101 se muestran los puntos de resistencias a la compresión máximas a reportar con el debido factor de corrección de carga propuesto por la norma ASTM C-129.

Para los bloques elaborados con la formulación FFR, se tienen resultados a la resistencia a la compresión a los 55 días. Se obtuvo un máximo valor de 2,0 MPa y un mínimo de 1,8 MPa, promediando una resistencia a la compresión sobre tres elementos ensayados de 2,0 MPa. Estos resultados son aceptables, según el mínimo indicado en el Protocolo de Prueba para

La valeur de 7,8 MPa nous permet de respecter la classification des blocs structuraux proposée par le Code Sismique du Costa Rica 2010 (CSCR-10), qui propose un minimum pour la résistance à la compression de 3 spécimens essayés de 7,4 MPa (75 kg/cm<sup>2</sup>) pour les blocs de type C. Pour cette classification, le CSCR-10 demande que chaque spécimen individuel soit conforme à un minimum de 6,9 MPa (70 kg/cm<sup>2</sup>) et tous les spécimens individuels de blocs essayés sous compression de la formulation FCR ont donné supérieur à cette valeur.

Cependant, le CSCR-10 indique que ces minimums de résistance doivent être atteints à l'âge de 28 jours des échantillons et que les résultats obtenus par les blocs testés ont été obtenus à 78 jours, ces données sont d'une importance capitale car des essais doivent être effectués de la résistance à la compression avec des blocs de cette formulation à cet âge indiqué et vérifier le bon respect de la taxe minimale pour les blocs de type C du CSCR-10, pour la norme INTECO l'âge n'est pas indiqué mais il est également conseillé de prendre ces minimums de résistance à 28 jours.

Ensuite, vous pouvez voir le type de défaillance présenté par les blocs FCR, de la figure 130 à 133. On observe que les fissures apparues correspondent au type de défaut 7 présenté sur la figure 11, appelé séparation des faces (Face Shell Separation) défini dans la norme ASTM C1314, également dans la partie supérieure du bloc, qui a été celle qui a reçu le moins de compactage pendant le processus de fabrication, un renflement du matériau a été présenté et dans certaines de ces zones, il a commencé à se détacher.

De la figure 134 à 137, les courbes de résistance à la compression contre les déformations subies par chaque bloc sont représentées et sur la figure 101 les points de résistance maximale à la compression à rapporter avec le facteur de correction de charge due proposé par ASTM C-129.

Pour les blocs fabriqués avec la formulation FFR, il existe des résultats pour la résistance à la compression après 55 jours. Une valeur maximale de 2,0 MPa et un minimum de 1,8 MPa ont été obtenues, en moyenne une résistance à la compression sur trois éléments testés de 2,0 MPa. Ces résultats sont acceptables selon le minimum indiqué dans le Protocole d'essai pour la mesure des performances seuils des bétons de

la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo, ciertamente este protocolo no es una norma oficial como sí lo son las NF o ASTM, pero al tratarse de un bio-concreto solo que con diferente fibra natural utilizada se tomó como base para generar comparaciones de procedimientos y mínimos establecidos.

Los tipos de fallas que los bloques de FFR ensayados presentaron, se muestran en las figuras 102, 103 y 104, en donde en todos se presentó el abultamiento del material en la zona de menor que compactación recibió durante la elaboración y se dio un inicio de separación del material. Sí se presentaron grietas, pero estas no eran tan gruesas como las presentadas en los bloques de la formulación FCR, en la fotografía se pueden apreciar que solo para el bloque 1 presentando en la figura 139, se presenta la grieta en uno de sus costados como el de la falla tipo separación de la cara (Face Shell Separation) indicada en la norma ASTM C1314.

En las figuras 106, 107, 108 y 109 se presentan las curvas de resistencia a la compresión contra deformaciones de los bloques ensayados de la formulación FFR, se puede apreciar que la resistencia es bastante menor que la obtenida por los bloques FCR y, a su vez, las deformaciones presentadas por los bloques FFR son mayores que las presentadas por los de la formulación FCR, por ende, los bloques FFR suelen ser más dúctiles que los FCR. Recordar, que entre ambas formulaciones hay una gran diferencia de contenido en kilogramos de ligante por 1 m<sup>3</sup> de cáscara de arroz no compactada, siendo el doble en las formulaciones FCR con respecto a la FFR, lo que explica la diferencia de comportamiento en cuanto a resistencias y deformaciones obtenidas en los especímenes de la formulación FCR con respecto a los de la FFR.

Ahora que ya se analizó sobre los resultados de los ensayos mecánicos, es igual de importante analizar algunas de las características físicas que presentan los especímenes de estas formulaciones, a continuación se hablará sobre esto.

chanvre, ce protocole n'est certainement pas une norme officielle comme le sont la NF ou l'ASTM, mais comme il s'agit d'un bio-béton uniquement avec une fibre naturelle différente utilisée, il a été pris comme base pour générer des comparaisons de procédures et de minima établis.

Les types de défaillances présentés par les blocs FFR testés sont illustrés aux figures 102, 103 et 104, où dans tout le renflement du matériau dans la zone inférieure au compactage reçu pendant le traitement a été présenté et une initiation de séparation des matériaux. Si il y avait des fissures mais elles n'étaient pas aussi épaisses que celles présentées dans les blocs de la formulation FCR, sur la photo, on peut voir que seulement pour le bloc 1 présenté sur la figure 139, la fissure est présentée sur l'un de ses côtés comme le de la défaillance du type de séparation des faces (Face Shell Separation) indiquée dans la norme ASTM C1314.

Sur les figures 106, 107, 108 et 109, les courbes de résistance à la compression par rapport aux déformations des blocs testés de la formulation FFR sont représentées, on peut voir que la résistance est considérablement inférieure à celle obtenue par les blocs FCR et à son tour les déformations présentées par les blocs FFR sont supérieures à celles présentées par ceux de la formulation FCR, par conséquent, les blocs FFR sont généralement plus ductiles que les FCR. N'oubliez pas qu'entre les deux formulations, il existe une grande différence de teneur en kilogrammes de liant pour 1 m<sup>3</sup> de balle de riz non compactée, le double des formulations FCR par rapport à la FFR, ce qui explique la différence de comportement en termes de résistance et déformations obtenues dans les éprouvettes de la formulation FCR par rapport à celles du FFR.

Maintenant que les résultats des essais mécaniques ont été analysés, il est également important d'analyser certaines des caractéristiques physiques des spécimens de ces formulations, et cela sera discuté ci-dessous.

## Ensayos físicos sobre especímenes de formulaciones FCR y FFR

Es importante analizar si las características físicas que presentan los especímenes de las formulaciones escogidas para la elaboración de bloques, presentan un buen rendimiento como aislantes térmicos y, a su vez, se comportan de manera óptima cuando se expone este material a cambios de humedad en el ambiente, ya que estas características van a generar un confort al usuario de las posibles edificaciones que se puedan construir con este tipo de material propuesto.

Si este material estudiado, presenta un buen rendimiento en las características higrotérmicas, es posible utilizarlo sin necesidad de agregar materiales aislantes, lo que, a manera global, podría reducir gastos en la construcción de edificaciones, pero el tema de costos se analizará al final de todos los resultados.

Por ende, para los especímenes extraídos de los cilindros de la formulación FCR se tiene reportado un promedio de los siguientes valores:

- Densidad seca al horno a 50 °C: 1 240 kg/m<sup>3</sup>.
- Efusividad térmica de: 626 J/(K.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>)
- Conductividad térmica de: 0,240 W/(m.K)

La densidad seca reportada fue tomada una vez que se alcanzó una masa constante en los especímenes y, por ende, es que varía con respecto a la reportada por los especímenes tipo cilindros y prismas de la misma formulación.

El resultado de la conductividad térmica indica la capacidad que el material tiene para dar paso al calor en sí, por tanto, si se tiene un menor valor de conductividad térmica mejor será el desempeño del material como aislante térmico.

La efusividad térmica, igualmente, cuanto menor sea este valor mejor aislante térmico será el material, ya que este valor indica la capacidad que tiene el material para intercambiar energía calórica con el ambiente u otros sistemas.

Para los especímenes elaborados con la formulación FFR los valores promedios obtenidos son de:

- Densidad seca al horno a 50 °C: 690 kg/m<sup>3</sup>.
- Efusividad térmica de: 322 J/(K.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>)
- Conductividad térmica de: 0,125 W/(m.K)

## Essais physiques sur des spécimens de formulations FCR et FFR

Il est important d'analyser si les caractéristiques physiques des spécimens des formulations choisies pour la préparation des blocs, ont de bonnes performances en tant qu'isolants thermiques et se comportent en même temps de manière optimale lorsque ce matériau est exposé à des changements d'humidité dans l'environnement, et ces caractéristiques généreront un confort pour l'utilisateur des bâtiments possibles qui peuvent être construits avec ce type de matériau proposé.

Si ce matériau étudié, a une bonne performance dans les caractéristiques hygrothermiques, il est possible de l'utiliser sans ajouter de matériaux isolants, ce qui de manière globale pourrait réduire les dépenses de construction de bâtiments, mais la question des coûts sera analysée au final les résultats.

Par conséquent, pour les spécimens extraits des cylindres de la formulation FCR, une moyenne des valeurs suivantes a été rapportée:

- Densité sèche au four à 50 °C: 1 240 kg/m<sup>3</sup>.
- Effusivité thermique de: 626 J/(K.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>)
- Conductivité thermique de: 0,240 W/(m.K)

La densité sèche rapportée a été prise une fois qu'une masse constante a été atteinte sur les spécimens et elle varie donc par rapport à celle rapportée par les spécimens de type cylindrique et à prisme de la même formulation.

Le résultat de la conductivité thermique, indique la capacité que le matériau doit céder à la chaleur elle-même, par conséquent, si vous avez une valeur de conductivité thermique bas, meilleure sont les performances du matériau en tant qu'isolation thermique.

L'effusivité thermique, plus cette valeur est basse, meilleure sera l'isolation thermique du matériau, car cette valeur indique la capacité du matériau à échanger de l'énergie thermique avec l'environnement ou d'autres systèmes.

Pour les spécimens réalisés avec la formulation FFR, les valeurs moyennes obtenues sont:

- Densité sèche au four à 50 °C: 690 kg/m<sup>3</sup>.
- Effusivité thermique de: 322 J/(K.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>)
- Conductivité thermique de: 0,125 W/(m.K)

De primera mano estos valores no muestra mucho, pero si se comparan con los valores de otros materiales utilizados en la construcción, puede dar una idea más clara de la capacidad térmica que los bio-concretos con cáscara de arroz ofrecen.

Es por eso que en las figuras 146 y 147 se muestra los valores de la conductividad y efusividad térmica correspondientemente.

En la figura 146, se puede notar que los resultados obtenidos para la formulación FFR están muy cercanos a los valores de conductividad térmica de materiales como el panel de corcho y el del panel de fibra de vidrio los cuales son materiales que se utilizan como aislantes, luego se nota también que los resultados de conductividad térmica obtenido por los especímenes de la formulación FCR están más cercanos al dato de un concreto celular, y suelen estar a un 50 % más que los resultados obtenidos por la formulación FFR.

El mismo efecto se nota para ambos materiales, en los resultados de efusividad térmica para las formulaciones estudiadas, la dispersión de los resultados obtenidos con respecto a la densidad del material se presenta en la figura 147.

Una vez que se obtuvieron los valores de la conductividad y efusividad térmica de manera directa, se pudieron obtener las otras características térmicas del material que lo terminarían de caracterizar en esta parte física.

Con todas las características térmicas mostradas en las tablas 29 y 32 y la aplicación de la ecuación 23 para calcular el tiempo de desfase térmico teórico, se obtuvo este valor para las dos formulaciones estudiadas FCR y FFR

Por tanto, los tiempos de desfase térmico a reportar para las formulaciones FCR y FFR, sería:

- $T_{desfase}^{24H}$  para FCR: 8,35 horas.
- $T_{desfase}^{24H}$  para FFR: 8,94 horas.

Con estos resultados se puede destacar que para un muro de espesor de 15 cm se tiene un tiempo de desfase térmico de 8,35 horas si se construye con la dosificación de bio-concreto con cáscara de arroz FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45 y un tiempo de desfase térmico de 8,94 si es construida con la dosificación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66.

Lo anterior quiere decir que, si se tiene un muro construido con la formulación FCR en donde el espesor de este sea de 15 cm, y tomando que a

De première main, ces valeurs ne nous indiquent pas grand-chose, mais si elles sont comparées avec les valeurs d'autres matériaux utilisés dans la construction, elles peuvent donner une idée plus claire de la capacité thermique offerte par le bio-béton avec des balles de riz.

C'est pourquoi, sur les figures 146 et 147, les valeurs de conductivité thermique et d'effusivité sont représentées de manière correspondante.

Sur la figure 146, on peut noter que les résultats obtenus pour la formulation FFR sont très proches des valeurs de conductivité thermique de matériaux tels que le liège et le panneau en fibre de verre qui sont des matériaux utilisés comme isolants, puis on constate également que les résultats de conductivité thermique obtenus par les éprouvettes de la formulation FCR sont plus proches des données d'un béton cellulaire, et sont généralement 50 % de plus que les résultats obtenus par la formulation FFR.

Le même effet est noté pour les deux matériaux, dans les résultats d'effusivité thermique pour les formulations étudiées, la dispersion des résultats obtenus par rapport à la densité du matériau est présentée sur la figure 147.

Une fois les valeurs de conductivité et d'effusivité thermique obtenues directement, les autres caractéristiques thermiques du matériau qui le caractériseraient dans cette partie physique pourraient être obtenues.

Avec toutes les caractéristiques thermiques présentées dans les tableaux 29 et 32 et l'application de l'équation 23 pour calculer le temps de déphasage thermique théorique, cette valeur a été obtenue pour les deux formulations étudiées FCR et FFR

Par conséquent, les temps de déphasage thermique à déclarer pour les formulations FCR et FFR seraient:

- $T_{déphasage}^{24H}$  pour FCR: 8,35 heures.
- $T_{déphasage}^{24H}$  pour FFR: 8,94 heures.

Avec ces résultats, on peut souligner que pour un mur de 15 cm d'épaisseur, il y a un déphasage thermique de 8,35 heures s'il est construit avec le dosage de bio-béton avec de la balle de riz FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45 et un temps de déphasage thermique de 8,94 s'il est construit avec le dosage FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66.

Cela signifie que, si vous avez un mur construit avec la formulation FCR dont l'épaisseur est de 15 cm, et en considérant qu'à 12 heures, vous avez la

12 medio día se tiene la temperatura máxima del día, esta temperatura tardará 8,35 horas en llegar de la cara A a la cara B del muro (como se muestra en la figura 14).

Además, se debe analizar cuanto más cercano sea el valor del tiempo de desfase térmico a 12 horas mejor será el material como aislante térmico, ya que, si se considera un ciclo de 24 horas a las primeras 12 horas se tendrá el pico de temperatura más alta y a las siguientes 12 horas el pico de temperatura más baja. Por lo que tener en el interior del inmueble una temperatura aumentando por el desfase térmico del material de encerramiento cuando en el exterior se está teniendo la temperatura más baja del día (o ciclo) generaría un confort al usuario y, además, esto representaría menor demanda energética con el fin de regular la temperatura interior del inmueble por confort. Lo mismo pasa en el sentido contrario, imaginando días de veranos donde la temperatura a medio día sea lo más caliente, pero en el interior del inmueble se tendría la sensación térmica de hace 12 horas atrás cuando la temperatura exterior era más fresca.

Entonces, de las dos formulaciones escogidas para la fabricación de bloques la que retarda algunos minutos más el ingreso de la temperatura exterior al interior de la edificación es la FFR. Estos resultados son teóricos según, el análisis mostrado con la ecuación de tiempo de desfase térmico y con las características térmicas obtenidas directamente del ensayo del alambre caliente, así como las obtenidas de manera indirecta mediante ecuaciones.

Además de los resultados físicos previamente presentados, se tuvo la capacidad de amortiguación de vapor de agua que los especímenes de las formulaciones FCR y FFR presentaron al ser sometidos al ensayo de MBV. Los resultados son mostrados en las tablas 33 y 34.

Para la formulación FCR, se tiene que el valor de la MBV siempre fue mayor en la fase de desorción que en la fase de absorción, lo que indica que este material tiende con mayor facilidad a liberar humedad que absorberla, la mayor diferencia porcentual entre el valor de MBV obtenido en estas dos fases para los tres ciclos escogidos como estables, es de 19,25 % mayor entre la desorción respecto a la absorción.

De igual manera, en la figura 148 se muestran los valores MBV obtenidos para los diferentes ciclos a de absorción y desorción a los

température maximale de la journée, cette température prendra 8,35 heures en arriver du côté A au côté B du mur (comme illustré à la figure 14).

De plus, il convient d'analyser que plus la valeur du déphasage thermique est proche de 12 heures, meilleur sera le matériau comme isolant thermique, car si un cycle de 24 heures est envisagé au cours des 12 premières heures, le pic de température sera pris le plus élevé et les 12 heures suivantes le pic de température le plus bas. Par conséquent, avoir une température à l'intérieur du bâtiment augmentant en raison du déphasage thermique du matériau de l'enceinte lorsque la température extérieure a la température la plus basse de la journée (ou du cycle) générerait du confort pour l'utilisateur et cela représenterait également une demande d'énergie inférieure afin de réguler la température intérieure de la propriété pour plus de confort. La même chose se produit dans la direction opposée, imaginant des jours d'été où la température à midi est la plus chaude, mais à l'intérieur du bâtiment, vous auriez la sensation thermique d'il y a 12 heures lorsque la température extérieure était plus froide.

Ensuite, parmi les deux formulations choisies pour la fabrication de blocs, celle qui retarde encore quelques minutes l'entrée de la température extérieure dans le bâtiment est la FFR, ces résultats sont théoriques selon l'analyse montrée avec l'équation du temps de déphasage thermique et avec les caractéristiques thermiques obtenues directement à partir du essai du fil chaud ainsi que celles obtenues indirectement au moyen d'équations.

En plus des résultats physiques présentés précédemment, il y avait la capacité d'amortissement de la vapeur d'eau que les spécimens des formulations FCR et FFR présentaient lorsqu'ils étaient soumis au essai MBV. Les résultats sont présentés dans les tableaux 33 et 34.

Pour la formulation FCR, la valeur MBV a toujours été plus élevée dans la phase de désorption que dans la phase d'absorption, ce qui indique que ce matériau a tendance à libérer plus facilement l'humidité qu'à l'absorber, la plus grande différence en pourcentage entre la valeur MBV obtenue dans ces deux phases pour les trois cycles choisis comme stables, est de 19,25 % plus élevée parmi la désorption par rapport à l'absorption.

que se sometió el espécimen en estudio, si bien es cierto la diferencia de masas en los ciclos de interés de estudio cumplía con una diferencia menor al 5 % entre sí y esto es indicador de que ya se puede calcular el valor de MBV como un resultado certero, se nota que después del ciclo 25 los resultados empezaron a variar menos entre sí, pero aun así estos podrían haberse estabilizado más.

Para el caso de los resultados de MBV para la formulación FFR, se tiene lo contrario que para la formulación FCR, ya que para la FFR el valor de MBV es mayor en la fase de absorción que el obtenido en la fase de desorción, lo que indica que los especímenes realizados con esta formulación tienen a absorber más humedad de la que liberan. Este resultado tan diferente entre ambas formulaciones, una vez más puede deberse a la cantidad de ligante involucrado por 1 m<sup>3</sup> de cáscara de arroz en las mezclas, al tener la formulación FFR menor cantidad de ligante, puede ser que la característica de la cáscara de arroz a absorber gran cantidad de agua entre en juego en estas fases donde se involucran cambios de humedad.

Aún con lo anterior mencionado, se tiene según la escala NORDTEST para este tipo de ensayo, que los resultados de MBV para un periodo de 24 horas obtenidos por ambas formulaciones se clasifican en un rendimiento bueno con rango que va de 1,75 a 1,89 (g/(m<sup>2</sup>. %HR)) para la formulación FCR y un rango que va de 1,84 a 1,88 (g/(m<sup>2</sup>. %HR)) para la formulación FFR.

Luego, comparando los valores obtenidos por estas dos formulaciones contra los valores de MBV obtenidos en diferentes proyectos de investigación como los de (Collet F, Prétot S, Lanos C., 2013) y (Ribeiro Simoes, 2015) que trabajaron con materiales para construcción que involucran fibras naturales, en la figura 160 se muestran los rendimientos obtenidos, se destacar el buen rendimiento de las formulaciones FCR y FFR a comparación de los resultados obtenidos por los investigadores mencionados, solo hay un valor que supera al de las formulaciones de elaboradas en este proyecto y es el valor de la MBV reportado por (Collet F, Prétot S, Lanos C., 2013) para el concreto con fibras de cáñamo.

Ahora se analizarán los resultados obtenidos por los especímenes de las formulaciones FCR y FFR sometidos al ensayo de Wetcup, el cual da diferentes características que

De mismo, la figura 148 muestra los valores MBV obtenidos para los diferentes ciclos de absorción y de desorción a los que el espécimen sometido a la investigación ha sido sometido, bien que la diferencia de masa en los ciclos de interés de la investigación ha sido respetada una diferencia de menos de 5 % los unos de los otros y es un indicador de que ya que el valor de MBV puede ya ser calculado como un resultado preciso, se debe notar que después del ciclo 25, los resultados han comenzado a variar menos los unos de los otros, pero incluso así, ellos podrían haberse estabilizado más.

Dentro del caso de los resultados MBV para la formulación FFR, lo inverso es cierto para la formulación FCR, ya que para la FFR el valor de MBV es más elevado en la fase de absorción que el obtenido en la fase de desorción, lo que indica que los especímenes fabricados con esta formulación tienen la tendencia a absorber más humedad de la que liberan. Este resultado tan diferente entre las dos formulaciones, puede ser debido a la cantidad de ligante involucrado por 1 m<sup>3</sup> de bala de arroz en las mezclas, ya que la formulación FFR tiene una cantidad de ligante inferior, se puede que la característica de la bala de arroz para absorber grandes cantidades de agua entre en juego en estas fases donde los cambios de humedad son implicados.

Mismo con lo que precede, es según la escala NORDTEST para este tipo de test, que los resultados de MBV sobre un periodo de 24 horas obtenidos por las dos formulaciones son clasificados en una buena performance con un rango de 1,75 a 1,89 (g/(m<sup>2</sup>. %HR)) para la formulación FCR y un rango de 1,84 a 1,88 (g/(m<sup>2</sup>. %HR)) para la formulación FFR.

Después, al comparar los valores obtenidos por estas dos formulaciones con los valores MBV obtenidos en diferentes proyectos de investigación como los de (Collet F, Prétot S, Lanos C., 2013) y (Ribeiro Simoes, 2015) que han trabajado con materiales de construcción que implican fibras naturales, en la figura 160 se muestran los rendimientos obtenidos, las buenas performances de las formulaciones FCR y FFR son evidenciadas en comparación con los resultados obtenidos por los investigadores mencionados, no hay un valor que supere el de las formulaciones elaboradas en este proyecto y es el valor de la MBV reportado por (Collet F, Prétot S, Lanos C., 2013) para el concreto con fibras de cáñamo.

Los resultados obtenidos por los especímenes de las formulaciones FCR y FFR sometidos al ensayo de

tiene un material sobre su capacidad de dejar fluir un gas, en este caso vapor de agua, mediante diferencias de humedades entre dos caras extremas del espécimen.

Una vez que se tiene una pérdida constante de masa de los especímenes en estudio, se procede a calcular la resistencia que presenta el material ante la penetración del vapor de agua en sí, los valores promedios fueron de:

- FCR:  $3,23\text{E}+09$  (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg
- FFR:  $4,09\text{E}+08$  (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg

E igual de importante el valor de la permeabilidad al vapor de agua del aire, que representa la capacidad que el material tiene, dado un espesor, en permitir que el vapor penetre en sí.

- FCR:  $9,56\text{E}-12$  kg/(s.m.Pa)
- FFR:  $7,44\text{E}-11$  kg/(s.m.Pa)

Estos valores indican que la formulación FCR presenta mayor resistencia por m<sup>2</sup> a la penetración del vapor de agua con respecto a la obtenida por FFR, esto respalda aún más el resultado obtenido en el ensayo MBV, en donde se notó que la formulación FFR tendía a absorber más vapor de agua en las fases de absorción que lo absorbido por los especímenes de la formulación FCR. Se debe recalcar que el ensayo de MBV y Wetcup son dos ensayos totalmente separados y uno no tiene que ver con los resultados del otro, pero se verifica que ambos ensayos arrojan que la formulación FCR es más conservadora en cuanto a la capacidad de absorber vapor de agua.

Ahora bien, el segundo valor mostrado, representa la capacidad que tienen el material en ser penetrado por el vapor de agua en cierto espesor, que para el caso del ensayo con los especímenes se tenía un espesor de 3 cm, es decir que, para el vapor de agua es "más" fácil penetrar 3 cm de un espécimen elaborado con la formulación FFR que uno elaborado con la formulación FCR.

différences d'humidité entre deux faces extrêmes du spécimen.

Une fois qu'il y a une perte de masse constante des spécimens à l'étude, nous procédons au calcul de la résistance présentée par le matériau à la pénétration de la vapeur d'eau elle-même, les valeurs moyennes étaient:

- FCR:  $3,23\text{E}+09$  (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg
- FFR:  $4,09\text{E}+08$  (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg

Tout aussi importante est la valeur de la perméabilité à la vapeur d'eau de l'air, qui représente la capacité du matériau, compte tenu de son épaisseur, à laisser pénétrer la vapeur.

- FCR:  $9,56\text{E}-12$  kg/(s.m.Pa)
- FFR:  $7,44\text{E}-11$  kg/(s.m.Pa)

Ces valeurs indiquent que la formulation FCR présente une plus grande résistance par m<sup>2</sup> à la pénétration de la vapeur d'eau par rapport à celle obtenue par FFR, ce qui confirme le résultat obtenu dans le test MBV, où il a été noté que la formulation FFR avait tendance à absorber plus de vapeur d'eau dans les phases d'absorption que celle absorbée par les spécimens de la formulation FCR. Il convient de souligner que les tests MBV et Wetcup sont deux essais totalement distincts et que l'un n'a rien à voir avec les résultats de l'autre, mais il est vérifié que les deux essais montrent que la formulation FCR est plus conservatrice en termes de capacité à absorber la vapeur de de l'eau

Maintenant, la deuxième valeur indiquée, représente la capacité du matériau à être pénétré par la vapeur d'eau dans une certaine épaisseur, qui dans le cas de l'essai avec les spécimens savait une épaisseur de 3 cm, c'est-à-dire pour la vapeur de l'eau est "plus" facile à pénétrer sur 3 cm d'un spécimen fabriqué avec la formulation FFR que celui fait avec la formulation FCR.



## Costo de producción

A continuación, se analiza el costo económico en el que se incurre al producir un 1 m<sup>3</sup> con la formulación FCR y también para FFR primeramente con los costos de los materiales en Costa Rica y luego en Francia.

Es importante mencionar que los costos mostrados para 1 m<sup>3</sup> de mezcla elaborado con la formulación FCR o con la FFR y, asimismo, los bloques fabricados con estas formulaciones, son costos solamente de los materiales cotizados tanto en Costa Rica como en Francia para dar una idea de cuánto se debe invertir para producirlos.

Se deja por fuera el estudio y análisis del costo de la mano de obra, consumo eléctrico para la producción y/o industrialización del producto final, ya que esto está fuera del alcance del proyecto. También, se deja por fuera el estudio de la huella ecológica del material el cual hace un análisis de cuánto CO<sub>2</sub> se produce o se consume al final de la producción y con esto cuantificar realmente el impacto ambiental del material.

En la tabla 37 se muestra la cantidad de materiales necesarios para producir 1 m<sup>3</sup> de bio-concreto, se nota que la formulación FCR demanda mayor cantidad de cemento en su dosificación para producir 1 m<sup>3</sup> final de mezcla contra la cantidad demandada por FFR, cumple que sea el doble ya que la relación Ligante/Granular entre estas dos formulaciones es del doble.

Económicamente, esto trae consigo consecuencias a los costos. Se debe recordar que la formulación FCR fue escogida porque daba buen rendimiento ante la resistencia a la compresión demandada por la norma costarricense de INTECO, pero ahora se debe analizar si es viable económicamente producir este bio-concreto en comparación a los tradicionales encontrados en el mercado costarricense.

En la tabla 38, se muestran los costos por material involucrado en la mezcla, primero se muestra cuánto cuesta producir esta mezcla de bio-concreto y luego el costo pero con materiales encontrados en Francia. Se nota entonces que el precio total de 1m<sup>3</sup> en Costa Rica es de ₡ 139 245,5 colones y esa misma dosificación de bio-concreto en Francia es de ₡ 150 449,2 colones, ciertamente el costo de vida en Francia es mayor que en Costa Rica por eso esta primera diferencia.

## Coût de production

Ensuite, nous analysons le coût économique engendré par la production d'un 1 m<sup>3</sup> avec la formulation FCR et aussi pour FFR d'abord avec les coûts des matériaux au Costa Rica puis en France.

Il est important de mentionner que, les coûts indiqués pour 1 m<sup>3</sup> de mélange réalisé avec la formulation FCR ou avec le FFR et également les blocs fabriqués avec ces formulations, ne sont que les coûts des matériaux cités à la fois au Costa Rica comme en France pour donner une idée du montant à investir pour les produire.

L'étude et l'analyse du coût de la main-d'œuvre, de la consommation d'électricité pour la production et/ou l'industrialisation du produit final sont laissées de côté car elles sortent du cadre du projet. De plus, l'étude de l'empreinte écologique du matériau est laissée de côté, ce qui permet d'analyser la quantité de CO<sub>2</sub> produite ou consommée à la fin de la production et de quantifier vraiment l'impact environnemental du matériau.

Le tableau 37 montre la quantité de matériaux nécessaires pour produire 1 m<sup>3</sup> de bio-béton, il est à noter que la formulation FCR demande une plus grande quantité de ciment dans son formulation pour produire 1 m<sup>3</sup> de mélange final par rapport à la quantité demandée par FFR, il se conforme que deux fois car la relation Liant / Granulat entre ces deux formulations est double.

Economiquement, cela entraîne des conséquences sur les coûts. Il convient de rappeler que la formulation FCR a été choisie car elle a donné de bonnes performances compte tenu de la résistance à la compression exigée par la norme costaricaine INTECO, mais il est maintenant nécessaire d'analyser s'il est économiquement viable de produire ce bio-béton par rapport aux traditionnelles trouvées dans le marché costaricien

Le tableau 38 montre les coûts par matériau impliqués dans le mélange, on montre d'abord combien il en coûte pour produire ce mélange de bio-béton puis le coût mais avec des matériaux trouvés en France. Il montre alors que le prix total de 1 m<sup>3</sup> au Costa Rica est de € 215,1 euros et que le même dosage de bio-béton en France est de € 232,4 euros, certainement le coût de la vie en France est plus élevé qu'au Costa Rica voilà

Al comparar estos costos con los concretos convencionales de 210 kg/cm<sup>2</sup> (20,6 MPa) la diferencia contra el bio-concreto FCR es ₡ 53 767,9 colones más caro producir el bio-concreto y además teniendo un diferencia de resistencia ante la compresión de más del doble favoreciendo al concreto convencional. Si este bio-concreto se comparara con un concreto convencional no estructural, se tendría una diferencia aún mayor de precios ya que el concreto no estructural de 175 kg/cm<sup>2</sup> (17,2 MPa) en aproximación cuesta

₡ 70 250 colones producir 1 m<sup>3</sup> lo que genera una brecha de ₡ 72 517 colones entre los precios de producción entre ambas opciones, nótese que aun así sigue dando mejor resistencia ante la compresión el convencional no estructural de 175 kg/cm<sup>2</sup> (17,2 MPa) que la resistencia reportada por la formulación FCR (4,8 MPa).

Lo anterior muestra que la formulación FCR escogida para la producción de bloques no estructurales para Costa Rica, a pesar de cumplir correctamente con los mínimos de resistencias de la norma para Elementos de mampostería de concreto (bloques de concreto) para uso no estructural de INTECO, su precio es elevado en comparación con de los concretos convencionales con los que se cuentan en Costa Rica y que estos ofrecen mejor rendimiento ante la resistencia a la compresión, si se recuerda la cantidad de cemento involucrado en la producción de 1 m<sup>3</sup> para esta formulación que fue de 876,2 kg y se compara contra un aproximado de 350 kg de cemento por m<sup>3</sup> según lo indicado por (Araya Rodríguez, 2013 Vol. 1) en el artículo de "Dosificación de concretos" para producir un concreto de resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> (20,6 MPa) a los 28 días, le suma como punto negativo para la formulación FCR.

Esto hace que su alto contenido de cemento por m<sup>3</sup> pierda la idea principal de generar un concreto más amigable con el ambiente, pero esto es un punto que también se debería estudiar a fondo, ya que en el caso del concreto convencional no solo el cemento es un material que contamina durante su producción, sino que también la arena y la piedra que se utilizan como agregados al ser extraídos de los depósitos naturales se impacta negativamente el ambiente.

Ahora, no se debe de dejar de lado a la formulación FFR la cual con costos de materiales en Costa Rica, esta tiene un costo de producción de ₡ 75 749 colones por m<sup>3</sup>, lo que, en cuanto a

pourquoi cette première différence.

En comparant ces coûts avec du béton conventionnel de 210 kg/cm<sup>2</sup> (20,6 MPa), la différence avec le bio-béton FCR est € 83,1 euros plus cher pour produire le bio-béton et ayant également une différence de résistance à la compression plus du double en privilégiant le béton conventionnel. Si ce bio-béton était comparé à un béton non structural conventionnel, il y aurait une différence de prix encore plus grande puisque le béton non structural de 175 kg/cm<sup>2</sup> (17,2 MPa) coûte approximativement € 108,6 euros pour produire 1 m<sup>3</sup> qui génère un écart de € 112,08 euros entre parmi les prix de production entre les deux options, il convient de noter que les 175 kg/cm<sup>2</sup> non structurels conventionnels (17,2 MPa) continuent de donner une meilleure résistance à la compression que la résistance rapportée par la formulation FCR (4,8 MPa).

Ce qui précède montre que, la formulation FCR choisie pour la production de blocs non structurels pour le Costa Rica, bien qu'elle respecte correctement les résistances minimales de la norme pour les éléments de maçonnerie en béton (blocs de béton) à usage non structural INTECO, son prix est élevé par rapport au béton conventionnel avec ceux disponibles au Costa Rica et que ceux-ci offrent de meilleures performances face à la résistance à la compression, si vous vous souvenez de la quantité de ciment impliqué dans la production de 1 m<sup>3</sup> pour cette formulation qui il était de 876,2 kg et il est comparé à environ 350 kg de ciment par m<sup>3</sup> comme indiqué par (Araya Rodríguez, 2013 Vol. 1) dans l'article «Dosage du béton» pour produire un béton de résistance à la compression de 210 kg/cm<sup>2</sup> (20,6 MPa) à 28 jours, il ajoute comme point négatif pour la formulation FCR

Cela fait perdre sa forte teneur en ciment par m<sup>3</sup> à l'idée principale de générer un béton plus respectueux de l'environnement, mais c'est un point qui doit également être étudié en profondeur, car dans le cas du béton conventionnel, non seulement le ciment est un matériau qui pollue lors de sa production mais aussi le sable et la pierre qui sont utilisés comme agrégats lorsqu'ils sont extraits de dépôts naturels impactent négativement l'environnement.

Maintenant, vous ne devez pas ignorer la formulation FFR qui, avec des coûts de matériaux au Costa Rica, a un coût de production de € 117 euros par m<sup>3</sup>, ce qui en termes de prix la rend attrayante car c'est pour € 20,5 euros moins cher

precios la hace atractiva, ya que es por ₡ 13 251 colones más barata que el concreto convencional de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Tiene aproximadamente 50 kg de cemento menos por m<sup>3</sup> partiendo de que un concreto de resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> necesita al menos 350 kg por m<sup>3</sup> de cemento en su dosificación (Araya Rodríguez, 2013 Vol. 1).

Pero sigue existiendo la brecha de la resistencia a la compresión, la cual es muy notoria, ya que la resistencia reportada por la formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 representa apenas un 2,90 % del promedio de resistencia de un concreto convencional de 210 kg/cm<sup>2</sup> (20,6 MPa).

Entre los precios de la formulación FFR y un concreto no estructural de 175 kg/cm<sup>2</sup>, la formulación FFR es ₡ 5 749 colones más cara de producir por m<sup>3</sup> y las resistencias a la compresión siguen siendo muy diferentes entre sí, teniendo que la resistencia a la compresión reportada por a los 28 días por la formulación FFR es un 3,48 % de lo esperado a los 28 días por el concreto no estructural expuesto.

De lo anterior, ciertamente, los precios para producir un m<sup>3</sup> de la formulación FCR y FFR son sobre elevados para el rendimiento en resistencia mecánica que ofrece con respecto al rendimiento de los concretos convencionales, se debe destacar de la formulación FFR, que la funcionalidad de los elementos construidos con esta formulación no se limita a elementos de encerramiento liviano sino que son excelentes aislantes térmicos.

Por lo que, a manera más detallada, se deberían comparar los resultados económicos de aplicar este tipo de bio-concreto con cáscara de arroz y el impacto económico global que tiene este, ya que puede afectar de manera positiva en la reducción de materiales aislantes y, además, a largo plazo de consumo energético en edificaciones para la regulación de la temperatura interna para generar confort al usuario.

Ahora bien, el análisis anterior era dirigido a los costos aproximados en los que se incurre para elaborar 1 m<sup>3</sup> de las formulaciones propuestas con materiales del mercado costarricense a comparación de dos concretos comunes en diferentes usos de la construcción en Costa Rica. Ahora es importante hacer esta comparación de costos, pero con materiales y costos que se encuentran en Francia.

que le concreto convencional de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Il a environ 50 kg de ciment en moins par m<sup>3</sup>, à partir du fait qu'un béton d'une résistance à la compression de 210 kg/cm<sup>2</sup> nécessite au moins 350 kg par m<sup>3</sup> de ciment dans son dosage (Araya Rodríguez, 2013 Vol.1).

Mais l'écart de résistance à la compression existe toujours, ce qui est très notable puisque la résistance rapportée par la formulation FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66 ne représente que 2,90 % de la résistance moyenne de un béton conventionnel de 210 kg/cm<sup>2</sup> (20,6 MPa).

Entre les prix de la formulation FFR et un béton non structural de 175 kg/cm<sup>2</sup>, la formulation FFR est € 8,9 euros plus cher à produire par m<sup>3</sup> et les résistances à la compression sont encore très différentes les unes des autres, ayant la résistance à la compression rapportée à 28 jours par la formulation FFR est de 3,48 % de ce qui était attendu à 28 jours pour le béton non structural exposé.

De ce qui précède, les prix pour produire un m<sup>3</sup> de la formulation FCR et FFR sont certainement élevés pour les performances de résistance mécanique qu'il offre par rapport aux performances des bétons conventionnels, il convient de souligner de la formulation FFR, que la fonctionnalité de la Les éléments construits avec cette formulation ne se limitent pas aux éléments d'enceinte légers mais sont d'excellents isolants thermiques.

Par conséquent, les résultats économiques de l'application de ce type de bio-béton avec de la balle de riz et l'impact économique mondial de celui-ci doivent être comparés plus en détail, car ils peuvent affecter positivement la réduction des matériaux isolants et également à long terme de la consommation d'énergie dans les bâtiments pour la régulation de la température interne afin de générer du confort pour l'utilisateur.

Cependant, l'analyse précédente visait les coûts approximatifs engagés pour préparer 1 m<sup>3</sup> des formulations proposées avec des matériaux du marché costaricien par rapport à deux bétons courants dans différentes utilisations de la construction au Costa Rica, maintenant il est important de faire cette comparaison des coûts mais avec les matériaux et les coûts trouvés en France.

El concreto que mayor costo representa por m<sup>3</sup> sigue siendo el bio-concreto con cáscara de arroz FCR, dejando de lado esta formulación y centrándose más en la formulación FFR, ya que esta cumple con los mínimos establecidos en el Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo y su costo llega a ser más accesible a comparación de los concretos convencionales utilizados en el mercado francés.

Como se muestra en la figura 166, se puede notar que el costo por m<sup>3</sup> de la dosificación FFR es de ₡ 83 181 colones y el de un concreto convencional en Francia es de ₡ 97 092 con una resistencia de 25 MPa a los 28 días. Partiendo entonces de que elementos elaborados con la formulación FFR no se utilizarán para fines estructurales, sino solamente de encerramiento se comparan los precios contra bloques típicos y bloques contruidos con concreto de cáñamo.

Construir un bloque de 15x20x40 cm (ancho, alto, largo) con la formulación FFR cuesta un 86,95 % más barato que un bloque de cáñamo de 20x30x60 cm y 78,40 % más barato que un bloque de cáñamo de 12x30x60. Igualmente, los costos presentados de los bloques de cáscara de arroz solo incluyen el costo de la materia prima, mientras que los bloques de cáñamo ya es el precio final como se ofrecen en una ferretería.

No obstante, se puede notar que en Francia sí es posible que los consumidores de la construcción lleguen a pagar por producto que si bien es más caro económicamente adquirirlo se sabe que los beneficios ambientales y el rendimiento en la parte higrotérmica de estos materiales a largo plazo cuentan en su precio inicial.

Un punto importante en esto es que los requerimientos de las resistencias para biomateriales suelen ser dirigidos a la naturaleza de estos en donde se sabe que se disminuye el rendimiento en la respuesta mecánica del material pero se benefician características térmicas, las cuales llegan a ser muy importantes para los cambios bruscos de temperaturas que se experimentan en países como Francia que de la estación de verano a la de invierno hay mucha diferencia en las temperaturas.

Por lo que, en Costa Rica la situación es muy diferente en cuanto a normativas dirigidas para materiales constructivos, ya que la normativa va dirigida a que los materiales tengan buenos rendimientos mecánicos para poder soportar de

Le béton qui représente le coût le plus élevé par m<sup>3</sup> est toujours le bio-béton de balle de riz FCR, laissant de côté cette formulation et se concentrant davantage sur la formulation FFR car elle répond au minimum établi dans le protocole de test pour la mesure des performances. Le seuil en béton de chanvre et son coût deviennent plus accessibles par rapport au béton conventionnel utilisé sur le marché français.

Comme le montre la figure 166, on peut noter que le coût au m<sup>3</sup> du dosage de FFR est de € 128,5 euros et celui d'un béton conventionnel en France est de € 150 euros avec une résistance de 25 MPa à 28 jours. À partir de là, les éléments élaborés avec la formulation FFR ne seront pas utilisés à des fins structurelles mais uniquement pour les enceintes, les prix sont comparés aux blocs typiques et aux blocs construits avec du béton de chanvre.

Construire un bloc de 15x20x40 cm (largeur, hauteur, longueur) avec la formulation FFR coûte 86,95 % moins cher qu'un bloc de chanvre 20x30x60 cm et 78,40 % moins cher qu'un bloc de chanvre 12x30x60. De même, les coûts présentés pour les blocs de cosse de riz ne comprennent que le coût de la matière première, tandis que les blocs de chanvre sont déjà le prix final car ils sont offerts dans une quincaillerie.

Mais, on peut noter qu'en France il est possible pour les constructeurs de payer pour un produit que même s'il est plus cher économiquement de l'acquérir, on sait que les bénéfices environnementaux et les performances dans la partie hygrothermique de ces matériaux sur le long terme comptent à son prix initial.

Un point important à cet égard est que les exigences de résistance pour les biomatériaux sont généralement dirigées vers la nature de ceux-ci où il est connu que les performances de la réponse mécanique du matériau sont diminuées mais que les caractéristiques thermiques sont favorisées qui deviennent très important pour les brusques changements de températures qui se produisent dans des pays comme la France que de la saison estivale à la saison hivernale il y a beaucoup de différence de températures.

Par conséquent, bien que cela soit vrai au Costa Rica, la situation est très différente en termes de réglementations visant les matériaux de construction, car les réglementations visent à garantir que les matériaux ont de bonnes performances mécaniques afin de pouvoir supporter correctement les éventuelles

manera correcta las posibles sollicitaciones generadas por sismos.

Se debe tener en cuenta que de existir algún interés de comercializar este tipo de elementos en Costa Rica elaborados con la formulación FFR o similar primero se debería de hacer un análisis de la respuesta sísmica que este material pueda tener en diferentes tipos de estructuras, lo cual conllevaría un estudio completo en esta área y luego concluir si es factible pedirle a entes como INTECO que incluyan normas específicas para estos materiales.

Por otro lado y sobre la misma línea de Costa Rica, el tratar de comercializar los bloques no estructurales de la formulación FCR no es factible económicamente, ya que si bien se cumple con lo indicado en la norma INTE C89- 2017 y a los 28 días se cumple con la clasificación de bloque estructural tipo C de la clasificación del CSCR-10, el valor de un bloque de esta formulación no lo haría competitivo ante los precios de los bloques típicos que se encuentran en el mercado costarricense, que, además de ser más económicos presentan mayor rendimiento ante la resistencia a la compresión.

sollicitations générées par un tremblement de terre.

Il convient de tenir compte du fait que s'il existe un intérêt à commercialiser ce type d'éléments préparés au Costa Rica avec la FFR ou une formulation similaire, une analyse de la réponse sismique que ce matériau peut avoir dans différents types de structures devrait être effectué. Cela impliquerait une étude complète dans ce domaine, puis de conclure s'il est possible de demander à des entités comme INTECO d'inclure des normes spécifiques pour ces matériaux.

D'un autre côté et dans la même lignée du Costa Rica, essayer de commercialiser les blocs non structurels de la formulation FCR n'est pas économiquement faisable, car il est conforme aux dispositions de la norme INTE C89-2017 et après 28 jours est conforme à la classification des blocs structuraux de type C de la classification du CSCR-10, la valeur d'un bloc de cette formulation ne le rendrait pas compétitif avec les prix des blocs typiques du Costa Rica et des blocs de type A de la classification du CSCR- 10 donnent une plus grande résistance à la baisse des prix.

# Conclusiones

1. La cáscara de arroz utilizada en el presente proyecto, proveniente de la región francesa de Camarga, presenta una densidad aparente no compacta de  $113 \text{ kg/m}^3$ , valor que está dentro del rango de ( $110$  a  $143 \text{ kg/m}^3$ ) densidad no compactada reportada por diferentes investigadores y con diferentes fuentes de plantación.
2. La cáscara de arroz, material granular utilizado como agregado único en las mezclas de bio-concreto, presenta una granulometría poco variada, ya que dentro de  $80$  a  $84 \%$  su tamaño es de  $1,25 \text{ mm}$ . Un máximo del  $6 \%$  del material tiene tamaño de  $2,5 \text{ mm}$  y un máximo del  $10 \%$  del tamaño del material está dividido en diferentes porcentajes después del tamiz de  $1,00 \text{ mm}$  de apertura.
3. Sin darle ningún tratamiento físico ni químico a la cáscara de arroz utilizada, se obtuvo un máximo entre los promedios de material fino retenido en la charola de  $0,48 \%$  del peso del material tamizado.
4. Sin tratamientos físicos ni químicos previos, la cáscara de arroz utilizada reporta una capacidad de absorción de agua de  $104,01 \%$  de su propio peso a los  $5$  minutos y un máximo reportado a las  $48$  horas de  $145,90 \%$  de su propio peso.
5. El material fino presente en la cáscara de arroz no representa gran impacto en la capacidad de absorción de agua, hay otros factores como la presencia de grano de arroz en el material que puede influir en aumentar la capacidad de absorción de agua.
6. El desmolde a edades tempranas de cilindros de bio-concreto de cáscara de arroz garantiza tener menor densidad final en dichos cilindros con respecto a unos que se desmolden a mayor edad, no obstante, este proceso no garantiza que el

# Conclusions

1. La balle de riz utilisée dans ce projet provient de la région française de Camargue. Il a une densité non compactée apparente de  $113 \text{ kg/m}^3$ , une valeur qui se situe dans la plage de ( $110$  à  $143 \text{ kg/m}^3$ ), une densité non compactée rapportée par différents chercheurs et avec différentes sources de plantation.
2. La balle de riz, matériau granulaire utilisé comme un seul agrégat dans les mélanges de bio-béton, a une granulométrie peu variée car de  $80$  à  $84 \%$  sa taille est de  $1,25 \text{ mm}$ . Un maximum de  $6 \%$  du matériau a une taille de  $2,5 \text{ mm}$  et un maximum de  $10 \%$  de la taille du matériau est divisé en différents pourcentages après l'ouverture du tamis de  $1,00 \text{ mm}$ .
3. Sans aucun traitement physique ou chimique de la balle de riz utilisée, un maximum a été obtenu parmi les moyennes de matière fine retenue dans le bac de  $0,48 \%$  du poids de la matière tamisée.
4. Sans traitements physiques ou chimiques antérieurs, la balle de riz utilisée rapporte une capacité d'absorption d'eau de  $104,01 \%$  de son propre poids à  $5$  minutes et un maximum rapporté à  $48$  heures de  $145,90 \%$  de son propre poids.
5. Le matériau fin présent dans la balle de riz ne représente pas un grand impact sur la capacité d'absorption d'eau, il existe d'autres facteurs tels que la présence de grains de riz dans le matériau qui peuvent influencer l'augmentation de la capacité d'absorption d'eau.
6. La libération anticipée des cylindres en bio-béton de balle de riz garantit une densité finale plus faible dans lesdits cylindres par rapport à ceux qui sont démoulés à un âge plus avancé, mais ce processus ne garantit pas que le cylindre non moulé ait un âge inférieur résistance

- cilindro desmoldado a menor edad tendrá menor resistencia a la compresión con respecto al desmoldado con mayor edad.
7. El grupo de formulaciones de F500 con relación agua/ligante de 0,45, 0,50 y 0,60 presentan un rango de densidades aparentes a los 28 días de 1 112 a 1 201 kg/m<sup>3</sup>.
  8. El grupo de formulaciones de F600 con relación agua/ligante de 0,45, 0,50 y 0,60 presentan un rango de densidades aparentes a los 28 días de 1 149 a 1 481 kg/m<sup>3</sup>.
  9. El grupo de formulaciones de F650 con relación agua/ligante de 0,45 y 0,50 presentan un rango de densidades aparentes a los 28 días de 1 362 a 1 524 kg/m<sup>3</sup>.
  10. El grupo de formulaciones de F700 con relación agua/ligante de 0,40, 0,45 y 0,50 presentan un rango de densidades aparentes a los 28 días de 1 388 a 1 578 kg/m<sup>3</sup>.
  11. El grupo de formulaciones de F750 con relación agua/ligante de 0,45 y 0,50 presentan un rango de densidades aparentes a los 28 días de 1 324 a 1 530 kg/m<sup>3</sup>.
  12. No en todos los grupos de formulaciones (F8 a la F20) donde los cilindros fueron ingresados al horno como parte de un método de curado propuesto para los especímenes, presentaron aumento de resistencia a la compresión a los 28 días contra la reportada a los 7 días de edad, inclusive algunos reportaron menores resistencias.
  13. Todos los grupos de formulaciones (F21 a la F24) estudiadas en la segunda fase que no fueron ingresados al horno, presentaron un aumento de la resistencia a la compresión a los 28 días contra la reportada a los 7 días.
  14. No se recomienda ingresar los especímenes de cilindros de bio-concreto de cáscara de arroz al horno como parte del método de curado, debido a que esto puede generar pérdidas de la resistencia a la compresión de los especímenes.
- à la compression inférieure à celle des démoulages plus anciens.
7. Le groupe de formulations F500 avec un rapport Eau/Liant de 0,45, 0,50 et 0,60 a une gamme de densités apparentes à 28 jours de 1 112 à 1 201 kg/m<sup>3</sup>.
  8. Le groupe de formulations F600 avec un rapport Eau/Liant de 0,45, 0,50 et 0,60 a une gamme de densités apparentes à 28 jours de 1 149 à 1 481 kg/m<sup>3</sup>.
  9. Le groupe de formulations F650 avec un rapport Eau/Liant de 0,45 et 0,50 a une gamme de densités apparentes à 28 jours de 1 362 à 1 524 kg/m<sup>3</sup>.
  10. Le groupe de formulations F700 avec un rapport Eau/Liant de 0,40, 0,45 et 0,50 a une gamme de densités apparentes à 28 jours de 1 388 à 1 578 kg/m<sup>3</sup>.
  11. Le groupe de formulations F750 avec un rapport Eau/Liant de 0,45 et 0,50 a une gamme de densités apparentes à 28 jours de 1 324 à 1 530 kg/m<sup>3</sup>.
  12. Pas dans tous les groupes de formulations (F8 à F20) où les cylindres ont été placés dans le four dans le cadre d'une méthode de durcissement proposée pour les spécimens, ils ont présenté une augmentation de la résistance à la compression à 28 jours par rapport à celle rapportée à 7 jours, certains ont même signalé une résistance plus faible.
  13. Tous les groupes de formulations (F21 à F24) étudiés dans la deuxième phase qui n'ont pas été introduits dans le four, ont montré une augmentation de la résistance à la compression à 28 jours contre celle rapportée à 7 jours.
  14. Il n'est pas recommandé de saisir les spécimens de cylindres de bio-béton de balle de riz cuit dans le cadre de la méthode de durcissement, car cela peut entraîner une perte de résistance à la compression des spécimens.
  15. Le démoulage d'un jour affecte l'intégrité des échantillons fabriqués avec des formulations de rapports Liant / Granulat de 2,65 ou moins (F300 de moins). Par conséquent non, il est recommandé de démouler ces formulations de moins de 7 jours.



15. El desmolde a un día de edad afecta la integridad de los especímenes elaborados con formulaciones de relaciones Ligante/Granular 2,65 o menos (F300 a menos). Por lo tanto, no se recomienda desmoldar estas formulaciones a menos de 7 días de edad.
16. Las fallas típicas en los cilindros ensayados a resistencia a la compresión de las formulaciones estudiadas en la segunda fase, empezaron siempre por el tercio que menor compactación tuvo durante el proceso de fabricación. Para los cilindros de mayor módulo de elasticidad aparente reportado las grietas se expandieron más allá de ese tercio.
17. La formulación escogida para la elaboración de los bloques no estructurales propuestos para Costa Rica fue la F12, renombrándola FCR F600 CEM II 32,5 A/L:0,45. Elegida por obtener a los 7 días una resistencia a la compresión de 4,1 MPa (41,81 kg/cm<sup>2</sup>), lo cual cumple con el promedio de resistencia a la compresión demandada en la norma INTE C89- 2017 “Elementos de mampostería de concreto (bloques de concreto) para uso no estructural.”.
18. La formulación escogida para la elaboración de los bloques no estructurales propuestos para Francia fue la F22, renombrándola FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66. Elegida por obtener a los 7 días una resistencia a la compresión de 0,3 MPa (3,06 kg/cm<sup>2</sup>), lo cual cumple con la resistencia a la compresión demandada en el “Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo”
19. El rango de las densidades iniciales de los cilindros de la formulación FCR es de 1 408 a 1 481 kg/m<sup>3</sup>, lo cual cataloga la formulación como un bio-concreto liviano, según de la norma INTE C89- 2017.
20. Las densidades iniciales de los cilindros de la formulación FFR variaron en un rango de 849 a 893 kg/m<sup>3</sup>, lo cual cataloga la formulación como un bio-concreto liviano, según de la norma INTE C89- 2017.
16. Les ruptures typiques dans les cylindres testés pour la résistance à la compression des formulations étudiées dans la deuxième phase, ont toujours commencé sur le tiers qui avait le compactage le plus faible pendant le processus de fabrication. Pour les cylindres ayant le module d'élasticité apparent le plus élevé, les fissures se sont étendues au-delà de ce tiers.
17. La formulation choisie pour l'élaboration des blocs non structuraux proposés pour le Costa Rica était le F12, renommé FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45. Choisi pour obtenir une résistance à la compression de 4,1 MPa (41,81 kg/cm<sup>2</sup>) après 7 jours, ce qui correspond à la résistance à la compression moyenne exigée dans la norme INTE C89-2017 «Éléments de maçonnerie de béton (blocs de béton) à usage non structural. »
18. La formulation choisie pour la préparation des blocs non structuraux proposés pour la France était le F22, en le renommant FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66. Choisi pour obtenir une résistance à la compression de 0,3 MPa (3,06 kg/cm<sup>2</sup>) après 7 jours, ce qui est conforme à la résistance à la compression exigée dans le «Protocole d'essai pour la mesure des performances de seuil de béton de chanvre».
19. La gamme des densités initiales des cylindres de la formulation FCR est de 1 408 à 1 481 kg/m<sup>3</sup>, qui répertorient la formulation comme un bio-béton léger, conformément à la norme INTE C89-2017.
20. Les densités initiales des cylindres de formulation FFR variaient dans une fourchette de 849 à 893 kg/m<sup>3</sup>, ce qui indique que la formulation est un bio-béton léger, selon l'INTE C89-2017.
21. Le pourcentage d'augmentation de la résistance à la compression dans la formulation FCR était de 29,17 % entre celui obtenu à 28 jours contre celui obtenu à 7 jours et de 12,73 % entre celui obtenu à 77 jours contre celui obtenu à 28 jours.

21. El aumento porcentual de la resistencia a la compresión en la formulación FCR fue de 29,17 % entre la obtenida a los 28 días contra la obtenida a los 7 días y un 12,73 % entre la obtenida a 77 días contra la obtenida a los 28 días.
22. La resistencia a la compresión promedio en cilindros a los 7, 28 y 77 días fueron de: 3,4 MPa (34,67 kg/cm<sup>2</sup>), 4,8 MPa (48,95 kg/cm<sup>2</sup>) y 5,5 MPa (56,08 kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente para la formulación FCR.
23. La resistencia a la compresión promedio en cilindros a los 7, 28 y 77 días fueron de: 0,4 MPa (4,08 kg/cm<sup>2</sup>), 0,6 MPa (6,12 kg/cm<sup>2</sup>) y 0,9 MPa (9,18 kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente para la formulación FFR.
24. La fuerza máxima soportada en flexión por un prisma de bio-concreto de cáscara de arroz de la formulación FCR sin refuerzo de ningún tipo, es de 17,97 kN con un desplazamiento máximo de 2,56 mm. Teniendo una resistencia a la flexión  $F_{ct}$  máxima de 2,75 MPa (28,04 kg/cm<sup>2</sup>) a los 70 días.
25. La fuerza máxima soportada en flexión por un prisma de bio-concreto de cáscara de arroz de la formulación FFR sin refuerzo de ningún tipo, es de 0,75 kN con un desplazamiento máximo de 3,47 mm. Teniendo una resistencia a la flexión  $F_{ct}$  máxima de 0,75 MPa (7,65 kg/cm<sup>2</sup>) a los 54 días.
26. El prisma de la formulación FFR con menor edad (54 días) presentó mejor rendimiento ante la flexión que otros prismas con la misma cantidad de cemento en la mezcla, pero diferentes relaciones agua/ligante y con mayor edad.
27. Los bloques no estructurales elaborados con la formulación FCR, presentaron una resistencia a la compresión corregida promedio de 7,8 MPa (79,54 kg/cm<sup>2</sup>) y una deformación promedio de 0,0438 mm/mm a los 78 días de edad.
28. La falla típica presentada en los bloques no estructurales de la formulación FCR concuerda con la falla tipo "separación de la cara" (Face Shell Separation) expuesta en la norma ASTM C1314.
22. La résistance moyenne à la compression des bouteilles à 7, 28 et 77 jours était de 3,4 MPa (34,67 kg/cm<sup>2</sup>), 4,8 MPa (48,95 kg/cm<sup>2</sup>) et 5,5 MPa (56,08 kg/cm<sup>2</sup>).
23. La résistance à la compression moyenne des bouteilles à 7, 28 et 77 jours était de 0,4 MPa (4,08 kg/cm<sup>2</sup>), 0,6 MPa (6,12 kg/cm<sup>2</sup>) et 0,9 MPa (9,18 kg/cm<sup>2</sup>) respectivement pour la formulation FFR.
24. La résistance maximale à la flexion supportée par un prisme en béton biologique en balle de riz de la formulation FCR sans renforcement d'aucune sorte est de 17,97 kN avec un déplacement maximal de 2,56 mm. Ayant une résistance maximale à la flexion  $F_{ct}$  de 2,75 MPa (28,04 kg/cm<sup>2</sup>) à 70 jours.
25. La résistance maximale à la flexion supportée par un prisme de bio-béton en coquille de riz de la formulation FFR sans renforcement d'aucune sorte est de 0,75 kN avec un déplacement maximal de 3,47 mm. Ayant une résistance maximale à la flexion  $F_{ct}$  de 0,75 MPa (7,65 kg/cm<sup>2</sup>) à 54 jours.
26. Le prisme de la formulation FFR avec un âge inférieur (54 jours), a présenté de meilleures performances avant flexion que d'autres prismes avec la même quantité de ciment dans le mélange mais des rapports Eau/Liant différents et avec plus d'âge.
27. Les blocs non structuraux fabriqués avec la formulation FCR avaient une résistance à la compression corrigée moyenne de 7,8 MPa (79,54 kg/cm<sup>2</sup>) et une déformation moyenne de 0,0438 mm/mm à 78 jours d'âge.
28. La rupture typique présentée dans les blocs non structuraux de la formulation FCR est cohérente avec la rupture de type «Face Spacing» décrite dans la norme ASTM C1314.
29. Les blocs non structuraux fabriqués avec la formulation FFR présentaient une résistance moyenne à la compression corrigée de 1,5 MPa (15,30 kg/cm<sup>2</sup>) et une déformation moyenne de 0,1039 mm/mm à 55 jours d'âge.

29. Los bloques no estructurales elaborados con la formulación FFR, presentaron una resistencia a la compresión corregida promedio de 1,5 MPa (15,30 kg/cm<sup>2</sup>) y una deformación promedio de 0,1039 mm/mm a los 55 días de edad.
30. La falla típica presentada en los bloques de la formulación FFR fue un abultamiento y grietas en la parte superior del bloque, la cual fue la que menor compactación tuvo durante la fabricación. Estas fallas no se pudieron clasificar con las expuestas en la norma ASTM C1314.
31. Las densidades de los bloques antes del ensayo de compresión, en ambas formulaciones, fueron mayores que las reportadas como densidades iniciales para los cilindros de las mismas formulaciones y esto se pudo deber a una mayor fuerza de compactación al momento de la fabricación, debido que la metodología de la compactación era manual.
32. La formulación FFR resulta tener mejores características térmicas que la formulación FCR, esto debido a la cantidad de cemento involucrada en ambas formulaciones. Al tener menor cantidad de cemento que envuelva la cáscara de arroz, se generan mayores espacios vacíos dentro del espécimen de la formulación FFR generando mejores características térmicas a este.
33. Se reporta para la formulación FCR:
  - a. Densidad seca al horno a 50 °C: 1 240 kg/m<sup>3</sup>.
  - b. Efusividad térmica de: 626 J/(K.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>).
  - c. Conductividad térmica de: 0,240 W/(m.K)
  - d.  $T_{desfase}^{24H}$ : 8,35 horas.
34. Se reporta para la formulación FFR:
  - e. Densidad seca al horno a 50 °C: 690 kg/m<sup>3</sup>.
  - f. Efusividad térmica de: 322 J/(K.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>).
  - g. Conductividad térmica de: 0,125 W/(m.K)
  - h.  $T_{desfase}^{24H}$ : 8,94 horas.
30. La ruptura típica presentada en los bloques de la formulación FFR era un renflement et des fissures dans la partie supérieure du bloc, qui était celle qui avait le moins de compactage pendant la fabrication. Ces défaillances n'ont pas pu être classées avec celles énoncées dans la norme ASTM C1314.
31. Les densités des blocs avant l'essai de compression, dans les deux formulations, étaient supérieures à celles rapportées comme densités initiales pour les cylindres des mêmes formulations et cela pourrait être dû à une force de compactage plus importante au moment de la fabrication, en raison de que la méthodologie de compactage était manuelle.
32. La formulation FFR se révèle avoir de meilleures caractéristiques thermiques que la formulation FCR, en raison de la quantité de ciment impliquée dans les deux formulations. En ayant une plus petite quantité de ciment qui entoure la balle de riz, de plus grands espaces vides sont générés dans l'échantillon de formulation FFR, ce qui lui confère de meilleures caractéristiques thermiques.
33. Il est rapporté pour la formulation FCR:
  - a. Densité sèche au four à 50 °C: 1 240 kg/m<sup>3</sup>.
  - b. Effusivité thermique de: 626 J/(K.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>).
  - c. Conductivité thermique de: 0,240 W/(m.K)
  - d.  $T_{déphasage}^{24H}$ : 8,35 heures.
34. Il est rapporté pour la formulation FFR:
  - a. Densité sèche au four à 50 °C: 690 kg/m<sup>3</sup>.
  - b. Effusivité thermique de: 322 J/(K.m<sup>2</sup>.s<sup>1/2</sup>).
  - c. Conductivité thermique de: 0,240 W/(m.K)
  - d.  $T_{déphasage}^{24H}$ : 8,94 heures.
35. La formulation du FCR, selon le test MBV, est meilleure en phase de désorption de vapeur d'eau. La plage de la valeur MBV est de 1,75 à 1,89 (g/(m<sup>2</sup>. %HR)) pour la formulation FCR, obtenant une «bonne» performance selon l'échelle NORDTEST.

35. La formulación FCR, según el ensayo de MBV, es mejor en la fase de desorción de vapor de agua. El rango del valor del MBV es de 1,75 a 1,89 (g/(m<sup>2</sup>. %HR)) para la formulación FCR, obteniendo un desempeño "Bueno" según la escala NORDTEST.
36. La formulación FFR, según el ensayo de MBV, es mejor en la fase de absorción de vapor de agua. El rango del valor del MBV es de 1,84 a 1,88 (g/(m<sup>2</sup>. %HR)) para la formulación FFR, obteniendo un desempeño "Bueno" según la escala NORDTEST.
37. Según el ensayo de Wetcup, para la formulación FCR se reporta como resistencia a la penetración del vapor de agua de 3,23E+09 (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg.
38. Para la formulación FFR se reporta como resistencia a la penetración del vapor de agua de 4,09E+08 (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg.
39. La formulación FCR F600 CEM II 32,5 A/L: 0,45, tiene un costo de ₡ 139 245 colones/m<sup>3</sup> con materiales disponibles en Costa Rica y un costo de ₡ 150 449 colones/m<sup>3</sup> con materiales disponibles en Francia.
40. La formulación FFR F300 CEM II 32,5 A/L: 0,66, tiene un costo de ₡ 75 749 colones/m<sup>3</sup> con materiales disponibles en Costa Rica y un costo de ₡ 83 181 colones/m<sup>3</sup> con materiales disponibles en Francia.
41. Producir un bloque de 15x20x40 cm con la formulación FCR en Costa Rica tiene un costo de ₡ 1 713 colones/und y en Francia de ₡ 1 805 colones/und.
42. Producir un bloque de 15x20x40 cm con la formulación FFR en Costa Rica tiene un costo de ₡ 909 colones/und y en Francia de ₡ 998 colones/und.
43. No es factible económicamente elaborar bloques con la formulación FCR para el mercado costarricense, debido que su precio es más del doble que un bloque estructural y la resistencia a la compresión que ofrece es limitada a pesar de cumplir con la normativa de INTECO. Por lo que, a su vez, se limita los posibles usos que se le puede dar a estos bloques.
36. La formule FFR, selon le test MBV, est meilleure en phase d'absorption de vapeur d'eau. La plage de la valeur MBV est de 1,84 à 1,88 (g/(m<sup>2</sup>. %HR)) pour la formulation FFR, obtenant une «bonne» performance selon l'échelle NORDTEST.
37. Selon l'essai Wetcup, pour la formulation FCR, la résistance à la pénétration de la vapeur d'eau est de 3,23E+09 (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg.
38. Pour la formulation FFR, la résistance à la pénétration de la vapeur d'eau est de 4,09E+08 (s.m<sup>2</sup>.Pa)/kg.
39. La formulation FCR F600 CEM II 32,5 E/L: 0,45, a un coût de € 215,1 euros/m<sup>3</sup> avec des matériaux disponibles au Costa Rica et un coût de € 232,4 euros/m<sup>3</sup> avec des matériaux disponibles en France.
40. La formulation FFR F300 CEM II 32,5 E/L: 0,66, a un coût de € 117 euros/m<sup>3</sup> avec des matériaux disponibles au Costa Rica et un coût de € 128,5 euros/m<sup>3</sup> avec des matériaux disponibles en France.
41. La production d'un bloc de 15x20x40 cm avec la formulation FCR au Costa Rica a un coût de € 2,6 euros/und. et en France de € 2,8 euros/und.
42. La production d'un bloc de 15x20x40 cm avec la formulation FFR au Costa Rica a un coût de € 1,4 euros/und. et en France de € 1,5 euros/und.
43. Il n'est pas économiquement faisable de préparer des blocs avec la formulation FCR pour le marché costaricien, car son prix est plus du double de celui d'un bloc structural et la résistance à la compression qu'il offre est limitée malgré le respect des réglementations INTECO. Donc, à son tour, cela limite les utilisations possibles qui peuvent être données à ces blocs.
44. Les blocs de formulation FFR peuvent devenir économiquement réalisables pour les produire au Costa Rica. Mais ceux-ci ne répondent pas à la demande minimale de résistance à la compression dans la norme pour les blocs non structuraux d'INTECO, donc son utilisation pour les murs d'enceinte est exclue avec les réglementations en vigueur dans le pays.
45. Les blocs fabriqués avec la formulation FFR sont économiquement réalisables en France. De plus, ceux-ci répondent aux minima exigés par les protocoles d'intérêt

44. Los bloques de la formulación FFR pueden llegar a ser factibles económicamente de producirlos en Costa Rica. Pero estos no cumplen con la resistencia a la compresión mínima demandada en la norma para bloques no estructurales de INTECO, por lo que su uso para paredes de encerramiento queda descartado con la normativa vigente en el país.
45. Los bloques elaborados con la formulación FFR son factibles económicamente de producirlos en Francia. Además, estos cumplen con los mínimos demandados por los protocolos de interés y sus características mecánicas e higrotérmicas hacen que su desempeño y precio sea comparable con productos como los bloques de cáñamo ya comercializados en Francia.

et leurs caractéristiques mécaniques et hygrothermiques rendent leurs performances et prix comparables à des produits tels que les blocs de chanvre déjà commercialisés en France.

# Recomendaciones

1. Para el proceso de compactación de los diferentes especímenes a realizar con el bio-concreto de cáscara de arroz, se recomienda cambiar la pesa utilizada por un dispositivo que siempre dé la misma energía de compactación sin importar la persona que lo esté aplicando o el tamaño del espécimen. Un dispositivo como el utilizado en el ensayo de proctor estándar.
2. Utilizar un molde que exceda mínimo unos 5 cm la altura final del espécimen para compactar mejor la última capa.
3. Realizar ensayo de resistencia a la compresión en especímenes tipo bloque a los 28 días y corroborar que a esta edad estos especímenes cumplen correctamente con los mínimos exigidos en las normativas.
4. Realizar ensayos de flexión sobre prismas a los 28 días para comparar los resultados con los obtenidos en este proyecto y ver el avance del desarrollo de resistencia a la flexión del material.
5. No desmoldar los especímenes con menos de 7 días de edad.
6. Estudiar el rendimiento del MBV y Wetcup del material, con especímenes que hayan sufrido algún tipo de envejecimiento para valorar el rendimiento del material ante cambios de humedad cuando este ya no tenga las condiciones de material nuevo.
7. Valorar el estudio de materiales como resinas, pinturas u otros que ayuden a conservar la integridad del material durante el tiempo, sin que estas afecten las propiedades térmicas del bio-concreto con cáscara de arroz.

# Recommandations

1. Pour le processus de compactage des différents échantillons à réaliser avec le bio-béton de balle de riz, il est recommandé de modifier le poids utilisé par un appareil qui donne toujours la même énergie de compactage quelle que soit la personne qui l'applique ou le taille du spécimen. Un appareil comme celui utilisé dans l'essai de Proctor Standard.
2. Utilisez un moule qui dépasse au moins 5 cm la hauteur finale de l'échantillon pour mieux compacter la dernière couche.
3. Effectuer un essai de résistance à la compression sur des échantillons de type bloc à 28 jours et confirmer qu'à cet âge, ces spécimens répondent correctement aux exigences minimales de la réglementation.
4. Effectuer des tests de flexion sur des prismes à 28 jours pour comparer les résultats avec ceux obtenus dans ce projet et voir l'avancement du développement de la résistance à la flexion du matériau.
5. Ne démoulez pas les spécimens à moins de 7 jours.
6. Étudier les performances du MBV et du Wetcup du matériau, avec des spécimens ayant subi un certain type de vieillissement pour évaluer les performances du matériau en cas de changements d'humidité lorsqu'il n'a plus les conditions d'un nouveau matériau.
7. Valoriser l'étude de matériaux tels que les résines, les peintures ou autres qui aident à préserver l'intégrité du matériau au fil du temps, sans affecter les propriétés thermiques du bio-béton avec la balle de riz.

8. Realizar un análisis de la respuesta, ante sollicitaciones laterales y de compresión por propio peso al realizar un conjunto tipo muro, que pueden presentar los especímenes tipo bloques elaborados con la formulación FFR, ya que esta es económicamente viable de producir en ambos países. Esto con el fin, de demostrar que a pesar que la formulación FFR presenta baja resistencia a la compresión, sí su rendimiento es aceptable ante diferentes sollicitaciones se pueda generar una propuesta de estudio que regule a manera de norma la producción y aplicación de este producto dirigida a INTECO, para su posible aplicación en Costa Rica.

8. Effectuer une analyse de la réponse, avant les sollicitations latérales et de compression par poids propre lors de la réalisation d'un montage de type mur, présentée par les spécimens de type bloc réalisés avec la formulation FFR, car celle-ci est économiquement viable à produire dans les deux pays. Cela montre que, bien que la formulation FFR ait une faible résistance à la compression, si ses performances sont acceptables pour différentes demandes, une proposition d'étude peut être générée qui réglemente la production et l'application de ce produit ciblé en règle générale dirigé à INTECO, pour une éventuelle application au Costa Rica.

# Referencias

# Références

- Alvarado, M. C. (Junio de 2002). Concretos base cemento Portland reforzados con fibras naturales (agave lechuguilla), como materiales para construcción en México. Tesis Doctoral. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- American Society for Testing and Materials. (2013). ASTM C-136: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. United States of America.
- American Society for Testing and Materials. (December 2018). ASTM C-1314: Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms. United States of America.
- American Society for Testing and Materials. (June 2017). ASTM C-129: Standard Test Method for Nonloadbearing Concrete Masonry Units. United States of America.
- Araya Rodríguez, M. (2013 Vol. 1). Dosificación de concreto. *Ingeniería en Construcción* , pág. 24.
- Collet F, Prétot S, Lanos C. (2013). Rendimiento hídrico del hormigón de cáñamo: efecto del recubrimiento sobre su capacidad como reguladores del agua. Anales de construcción y obras públicas, Rennes, Francia.
- Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ). (2019). Informe Estadístico. Obtenido de Período 2018/2019: [https://www.conarroz.com/userfile/file/INFORME\\_ANUAL\\_ESTADISTICO\\_PERIODO\\_2018\\_2019.pdf](https://www.conarroz.com/userfile/file/INFORME_ANUAL_ESTADISTICO_PERIODO_2018_2019.pdf)
- Federación Internacional del Cemento. (2018). Cifras de la industria cementera. Obtenido de Informe Estadístico 2018: <http://ficem.org/dev/wp-content/uploads/2018/09/CIFRAS-DE-LA-INDUSTRIA-CEMENTERA-MUNDIAL.pdf>
- FranceAgriMer. (Marzo de 2019). Le marché du riz Monde, Europe, France. Francia: Délégation nationale de FranceAgriMer édition 2019 ([www.franceagrimer.fr](http://www.franceagrimer.fr)).
- Global Cement and Concrete Association. (2019). Global context and quick definitions about concrete. London, United Kingdom.
- Gonzáles, E. (2018). Lista de materiales y sus propiedades térmicas a temperatura ambiente. Obtenido de Arquitectura y diseño: <https://pedrojhernandez.com/tag/caracteristicas-termicas/>
- Herrera Mejía, J., Osorio Saraz, J., & Varón Aristizabal, F. (28 de Febrero de 2007). Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras de Bagazo de Caña de Azúcar. Medellín, Colombia: Revista DYNA, Universidad Nacional de Colombia.
- Lehne, J., & Preston, F. (Junio de 2018). Chatham House Report. Obtenido de Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete: <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf>



- Mardama Nayagom, N. (14 de Noviembre de 2019). Les bétons á base de balle de riz et leur application dans la construction. Tesis por grado de Mater de Ingeniería Civil. Vaulx en Velin, Lyon, Francia: ENTPE.
- Mena Rodríguez, L. I. (2019). Análisis de las propiedades físicas de concretos modificados con fibras vegetales: cáscara de arroz. Cartago, Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica - ENTPE.
- Molina Salas, E. (Enero de 2010). Evaluación del uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto. Cartago, Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.
- Nguyen, T. (2010). Contribution à l'étude de la formulation et du procédé de fabrication d'éléments de construction en béton de chanvre. Génie civil. France: Université de Bretagne Sud.
- Nguyen, D. (15 de 09 de 2017). Etude de Faisabilité des nouveaux bétons biosourcés (Research about feasibility of new biological concretes). Balle de riz, Miscanthus, Lin Nouveaux matériaux pour la construction? Etude de Faisabilité des nouveaux bétons biosourcés. Vaulx en Velin, Lyon, France: ENTPE.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (07 de 11 de 2019). Situación Alimentaria Mundial. Obtenido de Nota informatica de la FAO sobre oferta y la demanda de cereales: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- Osorio Saraz, J., Varón Aristizabal, F., & Herrera Mejía, J. (28 de Febrero de 2007). Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras de Bagazo de Caá de Azúcar. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.
- Picbleu Habitat Durable. (09 de 2019). *Habitat durable : confort, écologie et économies*. Obtenido de Tableau comparatif du déphasage des meilleurs isolants thermiques: <https://www.picbleu.fr/page/tableau-comparatif-du-dephasage-des-isolants-thermiques>
- Quiceno Villada, D., & Mosquera Gutierrez, M. (23 de Abril de 2010). Alternativas Tecnológicas para el Uso de la Cascarilla de Arroz. Santiago, Cali, Colombia: Universidad Autónoma de occidente.
- Ribeiro Simoes, T. (Diciembre de 2015). Moisture buffering capacity of earth mortar plasters and hemp concrete. *Effect of temperature and thickness*. Lisboa, Portugal : Univerdade Nova de Lisboa
- Rode, C., Peuhkuri, R., Time, B., Svennberg, K., & Ojanen, T. (23 de Abril de 2006). Moisture Buffer Value of Building Materials. Toronto, Canada: Paper submitted for ASTM Symposium on Heat-Air-Moisture Transport: Measurements on Building Materials.
- Turégano, J. A., Hernández, M. A., & García, F. (2003). La inercia térmica de los edificios y su incidencia en las condiciones de confort como refuerzo de los aportes solares de carácter pasivo. *Zaragoza, España*.
- Valverde, A., Sarria, B., & Monteagudo, J. (Diciembre de 2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia: Scientia et Technica Año XIII, N° 37.

# Anexos

**Anexo 1.** Protocolo de Prueba para la Medición del Rendimiento Umbral de Hormigones de Cáñamo.

**Anexo 2.** Ficha técnica del ligante tipo cemento Portland tipo II, Optimat Vicat.

**Anexo 3.** Ficha técnica del ligante tipo cal natural, Chaux Naturelle Rapide Vicat

**Anexo 4.** Ficha técnica del ligante tipo cemento Portland semejante al utilizado en el proyecto disponible en el mercado Costarricense, Cemento Industrial de Holcim.

# Annexes

**Annexe 1.** Protocole d'essai pour mesurer la performance de seuil du béton de chanvre.

**Annexe 2.** Fiche technique du liant de ciment Portland type II, Optimat Vicat.

**Annexe 3.** Fiche technique du liant de type chaux naturelle, Chaux Naturelle Rapide Vicat

**Annexe 4.** Fiche technique du liant de ciment Portland similaire à celle utilisée dans le projet disponible sur le marché costaricien, Cemento Industrial de Holcim.

## Protocoles d'essais pour la mesure des performances seuils des bétons de chanvre

### 1 Préambule :

Pour être conformes aux Règles professionnelles de mise en œuvre les bétons de chanvre doivent présenter des performances minimales en conditions standard (20°C – 50% HR).

Ces performances seuils sont définies pour chaque application et sont les suivantes :

MUR	Module d'élasticité (MPa)	Résistance à la compression* (MPa)
Valeur seuil (minimum) <i>en condition standard</i>	>15 MPa	>0,2 MPa

SOL	Module d'élasticité (MPa)	Résistance à la compression* (MPa)
Valeur seuil (minimum) <i>en condition standard</i>	>15 MPa	>0,3 MPa

TOIT	Module d'élasticité (MPa)	Résistance à la compression* (MPa)
Valeur seuil (minimum) <i>en condition standard</i>	>3 MPa	>0,05 MPa

ENDUIT	Module d'élasticité (MPa)	Résistance à la compression* (MPa)
Valeur seuil (minimum) <i>en condition standard</i>	>20 MPa	>0,3 MPa

Elles sont évaluées à **60 et 90 jours** suivant les protocoles d'essais exposés dans ce document.

Ces protocoles concernent :

- La mesure des caractéristiques mécanique
- La mesure des caractéristiques thermique

Par ailleurs, ces mesures des performances devront être réalisées par des laboratoires externes. Ces laboratoires sont identifiés et sélectionnés par Construire en Chanvre sur la base de leurs compétences et du matériel nécessaire à la réalisation des essais. La liste des laboratoires est présentée dans ce document, elle est disponible auprès de l'association Construire en Chanvre. Tout nouveau laboratoire peut faire la demande auprès de Construire en Chanvre, pour être inscrit sur cette liste.

Les couples liants-granulat ayant fait l'objet d'essais et présentant les performances seuils demandées sont présentés § 4.

## 2 Protocoles d'essais

### Caractéristiques mécaniques :

	Fabrication des échantillons	Conservation	Préparation avant essais	Essais
<b>Matériel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bétonnière, modèle</li> <li>• Moule 16 cm x 32 cm</li> <li>• Balance (<math>e=10g</math>)</li> <li>• Presse ou matériel de compactage</li> </ul>	Enceinte climatique régulée en T et HR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enceinte climatique régulée en T et HR</li> <li>• Scie</li> </ul>	Presse hydraulique ou électromécanique pour essais de compression conforme à l'EN 12390-4 équipée d'un capteur de force de 50 kN.
<b>Procédure</b>	<p><u>A. Fabrication du béton</u></p> <p>Les constituants sont mélangés dans la bétonnière suivant les préconisations des fabricants (ordre d'introduction, dosage et temps de malaxage).</p> <p><u>B. Fabrication des éprouvettes</u></p> <p>Le béton de chanvre est déversé dans le moule cylindrique en 6 couches de 5cm environ chacune compactée avec une force de 0,05MPa.</p>	<p>Les éprouvettes filmées sont introduites dans l'enceinte régulée (<math>20^{\circ}C - 50\%HR</math>) immédiatement après leur fabrication et démoulées sur les faces inférieure et supérieure au bout de 7 jours.</p> <p>Elles sont ensuite maintenues dans l'enceinte de manière à assurer une ventilation sur les faces inférieure et supérieure.</p>	<p><u>A. Séchage</u></p> <p>Les éprouvettes démoulées sont séchées au moins 96h et au plus 144h dans une enceinte climatique à <math>50^{\circ}C \pm 1^{\circ}C</math> et <math>&lt;4\% HR</math>.</p> <p>Le séchage est atteint lorsque la variation de masse entre 2 pesées successives espacées de 24h est inférieure à 1%.</p> <p><u>B. Surfaçage</u></p> <p>Après séchage les éprouvettes sont surfacées par sciage perpendiculairement à une génératrice du cylindre</p>	<p>S'assurer de la propreté des plateaux de la machine et des faces d'appui des éprouvettes.</p> <p>Centrer les éprouvettes sur le plateau inférieur avec une précision de <math>\pm 5\%</math> du diamètre de l'éprouvette.</p> <p>L'essai est conduit en pilotant le déplacement de la traverse à une vitesse de 5 mm/min.</p> <p><u>A. Résistance à la compression</u></p> <p>La charge est appliquée sans choc jusqu'à la rupture de l'éprouvette.</p> <p><u>B. Module d'Young</u></p> <p>On applique une charge inférieure à 40% de la contrainte maximale enregistrée lors de l'essai de compression simple.</p> <p>Pour chaque échéance, il est conseillé de travailler sur 5 éprouvettes pour avoir 3 mesures au minimum</p>

<b>Valeurs paramètres</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nom des constituants</li> <li>Ordre d'introduction</li> <li>Dosage</li> <li>Temps de malaxage</li> <li>Identification des éprouvettes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Température : 21°C +/- 2°C</li> <li>HR : 50% +/- 5%HR</li> <li>Temps de conservation : 60 jours et 90 jours</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Température : 50°C +/- 1°C</li> <li>HR : &lt;4%</li> <li></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vitesse de déplacement de la traverse : 5mm/min</li> </ul>
<b>Mesures et Calculs</b>	On mesure la masse des échantillons après surfaçage et on en déduit la masse volumique à partir du calcul du volume total.	La température et l'HR de l'enceinte est mesurée sur toute la période de conservation	Après le surfaçage, les éprouvettes sont pesées et mesurées	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aire de la section de l'éprouvette : <math>A_c</math> en <math>m^2</math></li> <li>Hauteur nominale de l'éprouvette : <math>h_0</math> en m</li> <li>Courbe force en fonction du déplacement de la traverse (fréquence d'échantillonnage &gt; à 1 Hz.)</li> </ul> <p>En se référant aux schémas types on détermine :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Charge maximale : F en Newton</li> <li>Résistance à la compression : <math>f_{c,i} = F/A_c</math> en MPa</li> <li>Module d'Young (pente de la phase quasi-élastique de la courbe contrainte (MPa) – déformation (%) sur la partie quasi linéaire du comportement.</li> </ul>

#### Contenu du rapport d'essais :

Le rapport d'essais contiendra obligatoirement :

1. L'identification de l'éprouvette
2. La date de fabrication de l'éprouvette
3. La formulation mise en œuvre (identification des matières premières utilisées, dosages)
4. Les paramètres de fabrication du béton (ordre d'introduction dans la bétonnière, temps de malaxage)
5. La masse initiale de chaque éprouvette (après fabrication)
6. La masse volumique apparente initiale de chaque éprouvette (après fabrication)
7. La masse de chaque éprouvette sèche (avant essai)

8. La masse volumique apparente de chaque éprouvette sèche (avant essai)
9. Les dimensions nominales de chaque éprouvette ( $h_0$ ,  $A_c$ )
10. La date de l'essai
11. La charge maximale  $F$  en N pour chaque éprouvette
12. La résistance à la compression en MPa pour chaque éprouvette
13. La courbe d'évolution force en fonction du déplacement de la traverse de chaque éprouvette.
14. Le module d'Young en MPa pour chaque éprouvette
15. Une description de la rupture et/ou une photo de chaque éprouvette à la fin de l'essai
16. Une déclaration de la personne techniquement responsable de l'essai qu'il a été réalisé conformément au protocole exposé ci-dessus
17. La conclusion du rapport doit statuer sur la conformité ou non du couple pour l'application visée.

De plus certaines informations pourront être données à titre indicatif :

1. Les relevés de température et d'humidité relative des enceintes climatiques pour toute la période de conservation
2. Si des extensiomètres sont utilisés pour la mesure des déformations dans le tiers central de l'éprouvette on tracera les courbes contraintes-déformation avec ces mesures.
3. Une photo de chaque éprouvette à l'atteinte du sigma max

## Caractéristiques thermique :

	Fabrication des échantillons	Conservation	Préparation avant essais	Essais
<b>Matériel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bétonnière</li> <li>• Moule de dimension minimum 20 cm x 20 cm x 5 cm et n'excédant pas une épaisseur de 10 cm</li> <li>• Balance</li> </ul>	Enceinte climatique régulée en T et HR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enceinte climatique régulée en T et HR</li> </ul>	Dispositif d'essais permettant d'effectuer la mesure suivant la méthode de la plaque chaude gardée conformément à la norme NF EN 12664 (Juillet 2001).
<b>Procédure</b>	<p><u>C. Fabrication du béton</u></p> <p>Les constituants sont mélangés dans la bétonnière suivant les préconisations des fabricants (ordre d'introduction, dosage et temps de malaxage).</p> <p><u>D. Fabrication des éprouvettes</u></p> <p>Le béton de chanvre est déversé dans le moule et est compacté avec une force de 0,05 MPa</p> <p>Le cas échéant des éprouvettes peuvent être découpées dans un mur. (Voir schéma LA avec dimension du mur)</p>	<p>Les éprouvettes sont introduites dans l'enceinte régulée immédiatement après leur fabrication</p> <p>Dans le cas de prélèvement dans un mur test, on filme le mur test jusqu'au retour labo (maximum 7 jours) et on le met ensuite dans les conditions de conservation (cf. ci-dessous)</p>	<p><u>C. Séchage</u></p> <p>48h avant le test, les éprouvettes destinées à la mesure de la conductivité thermique à l'état sec sont placées dans une enceinte climatique</p> <p><u>D. Limitation des effets convectifs</u></p> <p>Il est impératif de s'affranchir du transfert d'énergie par convection, un revêtement fin et étanche doit donc être apposé sur les faces de l'échantillon</p>	<p>Les mesures sont effectuées sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Des éprouvettes à l'état sec (éprouvettes séchées)</li> <li>• Des éprouvettes en conditions standard (20°C, 50% HR)</li> </ul> <p>Pour chaque type d'éprouvette, 3 mesures sont réalisées (sur 3 éprouvettes différentes)</p>

<b>Valeurs paramètres</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nom des constituants</li> <li>Ordre d'introduction</li> <li>Dosage</li> <li>Temps de malaxage</li> <li>Identification des éprouvettes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Température : <math>21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}</math></li> <li>HR : <math>50\% \pm 5\%\text{HR}</math></li> <li>Temps de conservation : 28 jours minimum et jusqu'à masse constante (i.e 2 pesées successives de 24h avec une variation de masse <math>&lt;0,5\%</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Température : <math>50^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}</math></li> <li>HR : <math>0\%\text{HR} \pm 5\%\text{HR}</math></li> <li>Temps : 48h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Température initiale du matériau : <math>T_0 = 21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}</math></li> <li>Gradient minimum <math>\theta</math> de <math>10^{\circ}\text{C}</math> (entre les surfaces de l'échantillon) avec des températures sur les faces inférieures et supérieures de <math>T_0 + \theta/2</math> et <math>T_0 - \theta/2</math>.</li> </ul>
<b>Mesures et Calculs</b>	On mesure la masse des échantillons et on en déduit la masse volumique		Avant chaque essai les éprouvettes sont pesées et la masse volumique est calculée	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conductivité thermique sèche moyenne</li> <li>Conductivité thermique en condition standard moyenne</li> <li>Les variations</li> </ul>

Contenu du rapport d'essais :

Le rapport d'essais contiendra :

1. L'identification des 3 éprouvettes et le mode d'obtention
2. La date de fabrication de l'éprouvette
3. La formulation mise en œuvre (identification des matières premières utilisées, dosages)
4. Les paramètres de fabrication du béton (ordre d'introduction dans la bétonnière, temps de malaxage)
5. La masse initiale de l'éprouvette (après fabrication)
6. La masse volumique apparente initiale (après fabrication)
7. La masse de l'éprouvette avant et après les deux mesures de conductivité
8. Les masses volumiques apparentes de l'éprouvette avant et après les essais.
9. La date des essais
10. La conductivité thermique sèche
11. La conductivité thermique en condition standard
12. Une déclaration de la personne techniquement responsable de l'essai qui a été réalisé conformément au protocole exposé ci-dessus.



### 3 Liste des laboratoires :

Laboratoire/Entreprise		Adresse	CP	Ville	Contact		tel	mail	Méca	Thermique
LMDC	Insa Toulouse	135 Av de Ranguel	31077	TOULOUSE Cedex 4	Raphaël	EDIEUX	05.61.55.60.08	raphael.edieux@insa-toulouse.fr	oui	oui
LGCGM	Insa Rennes	20, Avenue des Buttes de Coësmes	35043	RENNES	Florence	COLLET	02.23.23.40.56	florence.collet@univ-rennes1.fr	oui	oui
CSTB		24 rue Joseph Fourier	38400	Saint Martin d'Hères	Hébert	SALLEE	04 76 76 25 57	hebert.sallee@cstb.fr	oui	oui
					Gérôme	LAURENT				
ENTPE		rue Maurice Audin	69518	Vaulx en Velin	Frédéric	Sallet	04 72 04 71 45	frederic.sallet@entpe.fr	oui	oui
CRDA – Lycée ARAGO		1 rue François Arago	51 100	REIMS	Philippe	MUNOZ	06 62 46 22 84	phil.munoz@free.fr	oui	oui

**CIMENTS COURANTS CEM II**

ANEXO 2

**Fiche de données de sécurité**

conforme au Règlement (CE) n° 453/2010

Date d'émission:

Date de révision: 02/12/2013

Remplace la fiche: 01/12/2012

Version: 4.0

**SECTION 1: Identification de la substance/du mélange et de la société/l'entreprise****1.1. Identificateur de produit**

Forme du produit : Mélange  
Nom commercial : CIMENTS COURANTS CEM II  
Synonymes : Ciments courants selon la norme NF EN 197-1: CEM II

**1.2. Utilisations identifiées pertinentes de la substance ou du mélange et utilisations déconseillées****1.2.1. Utilisations identifiées pertinentes**

Utilisation de la substance/mélange : Bétons, mortiers, coulis

**1.2.2. Usages déconseillés**

Pas d'informations complémentaires disponibles

**1.3. Renseignements concernant le fournisseur de la fiche de données de sécurité**

S.A. VICAT  
Direction Commerciale Ciments et Liants Hydrauliques - 4 rue Aristide Bergès - BP 137  
38081 L'ISLE D'ABEAU Cédex - France  
T +33 4 74 18 40 10 - F +33 4 74 18 40 18  
[fds.ciment@vicat.fr](mailto:fds.ciment@vicat.fr) - [www.info-ciments-vicat.fr](http://www.info-ciments-vicat.fr)

**1.4. Numéro d'appel d'urgence**

Pays	Organisme/Société	Adresse	Numéro d'urgence
FRANCE	ORFILA	<a href="http://www.centres-antipoison.net">http://www.centres-antipoison.net</a>	+33 (0)1 45 42 59 59

**SECTION 2: Identification des dangers****2.1. Classification de la substance ou du mélange****Classification selon le règlement (CE) N° 1272/2008 [CLP]**

Skin Irrit. 2 H315  
Eye Dam. 1 H318  
Skin Sens. 1 H317  
STOT SE 3 H335

Texte complet des phrases H: voir section 16

**Classification selon les directives 67/548/CEE ou 1999/45/CE**

Xi; R41  
Xi; R37/38  
R43

Texte complet des phrases R: voir section 16

**Effets néfastes physicochimiques, pour la santé humaine et pour l'environnement**

Lorsque le ciment entre en contact avec l'eau, lors de la fabrication de béton ou de mortier par exemple, ou lorsque le ciment est humide, une solution fortement alcaline est produite.

Inhalation :

L'inhalation fréquente de grandes quantités de poussières de ciment sur une longue période accroît les risques d'apparition d'une maladie respiratoire.

Yeux :

Le contact des yeux avec le ciment (sec ou humide) peut entraîner de graves lésions oculaires potentiellement irréversibles.

Peau :

Le ciment peut avoir un effet irritant sur une peau mouillée (par la transpiration ou l'humidité ambiante) après un contact prolongé. Le contact prolongé de la peau avec du ciment ou du béton humides peut entraîner de graves brûlures car ces dernières se produisent sans qu'il y ait de douleur, par exemple en travaillant agenouillé sur du béton humide, y compris à travers l'épaisseur d'un pantalon. Le contact répété de la peau avec du ciment humide peut également entraîner une dermatose de contact.

**CIMENTS COURANTS CEM II****Fiche de données de sécurité**

conforme au Règlement (CE) n° 453/2010

**2.2. Éléments d'étiquetage****Etiquetage selon le règlement (CE) N° 1272/2008 [CLP]**

Pictogrammes de danger (CLP) :



GHS05



GHS07

Mention d'avertissement (CLP) :

: Danger

Composants dangereux :

: Clinker de ciment Portland, produits chimiques, Poussières de fabrication du clinker de ciment Portland

Mentions de danger (CLP) :

: H315 - Provoque une irritation cutanée  
H317 - Peut provoquer une allergie cutanée  
H318 - Provoque des lésions oculaires graves  
H335 - Peut irriter les voies respiratoires

Conseils de prudence (CLP) :

: P102 - Tenir hors de portée des enfants  
P261 - Éviter de respirer les poussières/fumées/gaz/brouillards/vapeurs/aérosols  
P280 - Porter des gants de protection/des vêtements de protection/un équipement de protection des yeux/un équipement de protection du visage  
P302+P352+P333+P313 - EN CAS DE CONTACT AVEC LA PEAU: laver abondamment à l'eau et au savon. En cas d'irritation ou d'éruption cutanée: consulter un médecin  
P305+P351+P338 - EN CAS DE CONTACT AVEC LES YEUX: rincer avec précaution à l'eau pendant plusieurs minutes. Enlever les lentilles de contact si la victime en porte et si elles peuvent être facilement enlevées. Continuer à rincer  
P310 - Appeler immédiatement un CENTRE ANTIPOISON ou un médecin  
P304+P340 - EN CAS D'INHALATION: transporter la victime à l'extérieur et la maintenir au repos dans une position où elle peut confortablement respirer  
P312 - Appeler un CENTRE ANTIPOISON ou un médecin en cas de malaise  
P501 - Éliminer le contenu/récipient dans une installation de collecte des déchets autorisée**2.3. Autres dangers**

Cette substance/mélange ne remplit pas les critères PBT du règlement REACH annexe XIII

Cette substance/mélange ne remplit pas les critères vPvB du règlement REACH annexe XIII

**SECTION 3: Composition/informations sur les composants****3.1. Substance**

Non applicable

**3.2. Mélange**

Description :

: Le ciment est constitué de clinker, d'un peu de sulfate de calcium, éventuellement de calcaire, et/ou des différents constituants mentionnés dans le tableau qui suit

Le clinker, après cuisson à 1450 °C, est composé principalement de silicates et d'aluminates de calcium et de très petites quantités de chaux libre, magnésie, sulfate de sodium, potassium et calcium, et de traces d'autres éléments; tel que le chrome hexavalent.

Le clinker, le sulfate de calcium et éventuellement les autres constituants pré-cités sont broyés. Le ciment contient de très faibles quantités d'insolubles dans lesquels on peut éventuellement trouver de la silice libre (CAS : 14808-60-7; EINECS : 238-878-4).

Quelques fractions de pourcent de sulfate de fer heptahydrate ou de sulfate d'étain peuvent être ajoutées comme agent réducteur du chrome (VI) soluble.

Nom	Identificateur de produit	%	Classification selon la directive 67/548/CEE
Clinker de ciment Portland, produits chimiques	(N° CAS) 65997-15-1 (N° CE) 266-043-4	65 - 94	Xi; R41 Xi; R37/38 R43
Calcaire substance possédant une/des valeurs limites d'exposition professionnelle nationales (BE, BG, ES, ET, GB, HU)	(N° CAS) 1317-65-3 (N° CE) 215-279-6	6 - 35	Non classé
Pouzzolanes naturelles P		6 - 20	Non classé
Sulfate de calcium substance possédant une/des valeurs limites d'exposition professionnelle nationales (AT, BE, DE, ES, HU, IE, IT, LV, PT)	(N° CAS) 7778-18-9 (N° CE) 231-900-3 (N° REACH) 01-2119444918-26	< 5	Non classé
Sulfate de calcium dihydrate substance possédant une/des valeurs limites d'exposition professionnelle nationales (FR)	(N° CAS) 10101-41-4 (N° CE) 231-900-3	< 5	Non classé
Poussières de fabrication du clinker de ciment Portland	(N° CAS) 68475-76-3 (N° CE) 270-659-9 (N° REACH) 01-2119486767-17	< 5	Xi; R41 Xi; R37/38 R43

**CIMENTS COURANTS CEM II****Fiche de données de sécurité**

conforme au Règlement (CE) n° 453/2010

Nom	Identificateur de produit	%	Classification selon la directive 67/548/CEE
Sulfate de fer (II)	(N° CAS) 7720-78-7 (N° CE) 231-753-5 (N° index) 026-003-00-7 (N° REACH) 01-2119513203-57	< 1	Xn; R22 Xi; R36/38
Nom	Identificateur de produit	%	Classification selon le règlement (CE) N° 1272/2008 [CLP]
Clinker de ciment Portland, produits chimiques	(N° CAS) 65997-15-1 (N° CE) 266-043-4	65 - 94	Skin Irrit. 2, H315 Eye Dam. 1, H318 Skin Sens. 1, H317 STOT SE 3, H335
Calcaire substance possédant une/des valeurs limites d'exposition professionnelle nationales (BE, BG, ES, ET, GB, HU)	(N° CAS) 1317-65-3 (N° CE) 215-279-6	6 - 35	Non classé
Pouzzolanes naturelles P		6 - 20	Non classé
Sulfate de calcium substance possédant une/des valeurs limites d'exposition professionnelle nationales (AT, BE, DE, ES, HU, IE, IT, LV, PT)	(N° CAS) 7778-18-9 (N° CE) 231-900-3 (N° REACH) 01-2119444918-26	< 5	Non classé
Sulfate de calcium dihydrate substance possédant une/des valeurs limites d'exposition professionnelle nationales (FR)	(N° CAS) 10101-41-4 (N° CE) 231-900-3	< 5	Non classé
Poussières de fabrication du clinker de ciment Portland	(N° CAS) 68475-76-3 (N° CE) 270-659-9 (N° REACH) 01-2119486767-17	< 5	Skin Irrit. 2, H315 Eye Dam. 1, H318 Skin Sens. 1, H317 STOT SE 3, H335
Sulfate de fer (II)	(N° CAS) 7720-78-7 (N° CE) 231-753-5 (N° index) 026-003-00-7 (N° REACH) 01-2119513203-57	< 1	Acute Tox. 4 (Oral), H302 Eye Irrit. 2, H319 Skin Irrit. 2, H315

Textes des phrases R-,H- et EUH: voir section 16.

**SECTION 4: Premiers secours****4.1. Description des premiers secours**

Premiers soins après inhalation	: En cas d'inhalation massive : Amener le sujet à l'air frais. La gorge et les narines devraient se dégager d'elles-mêmes. Consulter un médecin en cas d'irritation, de gêne, de toux ou d'autres symptômes apparaissant par la suite.
Premiers soins après contact avec la peau	: Si le ciment est sec : Eliminer au maximum par essuyage. Rinçage abondant à l'eau. Si le ciment est gâché : Rinçage abondant à l'eau. Oter tout vêtement ou chaussure souillés. Retirer vêtements, chaussures, montres et autres objets contaminés et nettoyer à fond avant de les réutiliser. En cas d'irritation, de rougeur ou de brûlures, consulter un médecin.
Premiers soins après contact oculaire	: Ne pas frotter afin d'éviter des atteintes supplémentaires à la cornée. Le cas échéant, retirer les lentilles, puis effectuer un rinçage immédiat et abondant à l'eau claire en maintenant les paupières bien écartées, pendant au moins 15 minutes afin d'éliminer tout résidu particulaire. Si possible, utiliser de l'eau isotonique (0,9% NaCl). Consulter un médecin du travail ou un ophtalmologiste.
Premiers soins après ingestion	: En cas d'ingestion de grandes quantités : Ne pas faire vomir. Rincer la bouche à l'eau. Appeler immédiatement un CENTRE ANTIPOISON ou un médecin.

**4.2. Principaux symptômes et effets, aigus et différés**

Symptômes/lésions après inhalation	: Le ciment peut irriter la gorge et les voies respiratoires. Des toux, des éternuements et des gênes respiratoires peuvent apparaître en cas de dépassement de la valeur moyenne d'exposition professionnelle.
Symptômes/lésions après contact avec la peau	: Du ciment sec en contact avec une peau mouillée ou une exposition à du ciment humide ou gâché peut entraîner un épaississement de la peau et l'apparition de fissures ou crevasses. Un contact prolongé combiné à des abrasions peut provoquer de graves brûlures.
Symptômes/lésions après contact oculaire	: Un contact direct peut endommager la cornée par frottement, provoquer une irritation immédiate ou différée ou une inflammation. Des quantités plus importantes de ciment sec ou des éclaboussures de ciment gâché peuvent avoir des conséquences qui vont d'une irritation modérée (conjonctivite ou blépharite) jusqu'aux brûlures chimiques et la cécité.
Symptômes/lésions après ingestion	: Irritation grave ou brûlures à la bouche, la gorge, l'oesophage et l'estomac. Nausées. Vomissements.

**4.3. Indication des éventuels soins médicaux immédiats et traitements particuliers nécessaires**

Traitement symptomatique. Si possible montrer cette fiche. A défaut montrer l'emballage ou l'étiquette.

**SECTION 5: Mesures de lutte contre l'incendie****5.1. Moyens d'extinction**

Moyens d'extinction appropriés	: Tous les agents d'extinction sont utilisables.
--------------------------------	--

# CIMENTS COURANTS CEM II

## Fiche de données de sécurité

conforme au Règlement (CE) n° 453/2010

### 5.2. Dangers particuliers résultant de la substance ou du mélange

Danger d'incendie : Le ciment n'est ni combustible, ni explosif et ne facilitera ni n'alimentera la combustion d'autres matériaux.

### 5.3. Conseils aux pompiers

Instructions de lutte contre l'incendie : Eviter que les eaux usées de lutte contre l'incendie contaminent l'environnement.

## SECTION 6: Mesures à prendre en cas de déversement accidentel

### 6.1. Précautions individuelles, équipement de protection et procédures d'urgence

#### 6.1.1. Pour les non-secouristes

Équipement de protection : Eviter le contact avec la peau et les yeux. Ne pas respirer les poussières.

#### 6.1.2. Pour les secouristes

Équipement de protection : Ne pas intervenir sans un équipement de protection adapté. Pour plus d'informations, se reporter à la section 8 : "Contrôle de l'exposition-protection individuelle".

### 6.2. Précautions pour la protection de l'environnement

Ne pas laisser le produit se répandre dans l'environnement. Ne pas déverser à l'égout et dans les rivières.

### 6.3. Méthodes et matériel de confinement et de nettoyage

Pour la rétention : Récupérer le ciment sec en utilisant des méthodes de nettoyage qui ne provoquent pas la dispersion du produit sec dans les airs, par exemple :  
- aspirateurs (industriels portatifs, équipés d'un filtre de haute efficacité pour les particules de l'air (filtre HEPA) ou d'une autre technique équivalente)  
- serpillières, balais-brosses mouillés ou tuyaux d'arrosage (réglés à "buée fine" afin d'éviter de projeter le produit dans les airs)  
Récupérer les boues liquides résultantes. S'il n'est pas possible d'aspirer le produit sec ou de le mouiller, s'assurer que le personnel chargé du balayage à sec porte un équipement de protection individuel approprié et qu'il empêche une plus grande dispersion des poussières. Placer le produit récupéré dans un conteneur fermé. Provoquer sa prise avant de l'éliminer comme indiqué à la rubrique 13. Récupérer le ciment gâché et le placer dans un conteneur fermé. Attendre que le produit ait pris et se soit solidifié avant de l'éliminer comme indiqué à la rubrique 13.

Procédés de nettoyage : Laver la zone souillée à grande eau.

Autres informations : Après la prise, la pâte de ciment peut être évacuée comme un déchet banal du bâtiment. La pâte de ciment durcit environ 2 à 4 heures après avoir été mélangée à l'eau.

### 6.4. Référence à d'autres sections

Pour plus d'informations, se reporter à la section 13.

## SECTION 7: Manipulation et stockage

### 7.1. Précautions à prendre pour une manipulation sans danger

Précautions à prendre pour une manipulation sans danger : Empêcher ou limiter la formation et la dispersion de poussières. Eviter le contact avec la peau et les yeux. Ne pas respirer les poussières. En cas de ventilation insuffisante, porter un appareil respiratoire approprié. Afin de limiter l'émission de poussières :  
Pour le ciment ensaché utilisé dans un malaxeur ouvert : verser d'abord l'eau, ensuite le ciment. Ne pas verser d'une grande hauteur et commencer le gâchage à petite vitesse régulière.

Mesures d'hygiène : Ne pas manger, boire ou fumer lors de la manipulation du ciment afin d'éviter tout contact avec la peau ou la bouche.  
Se laver les mains immédiatement après avoir manipulé du ciment ou des produits en contenant. Retirer vêtements, chaussures, montres et autres objets contaminés et nettoyer séparément et à fond avant de les réutiliser.

### 7.2. Conditions nécessaires pour assurer la sécurité du stockage, tenant compte d'éventuelles incompatibilités

Mesures techniques : Contrôle du Cr (VI) soluble :  
Dans les ciments traités avec un agent réducteur de Cr (VI) conformément à la réglementation visée à la rubrique 15, l'efficacité de l'agent réducteur diminue avec le temps. C'est pourquoi les sacs de ciment et/ou les documents d'accompagnement indiquent la durée pendant laquelle le fabricant a déterminé que la teneur de Cr (VI) soluble est maintenue par l'agent réducteur sous la limite réglementaire de 0,0002%, conformément à l'EN 196-10. Les conditions d'entreposage nécessaires à la conservation de l'efficacité de l'agent réducteur sont également indiquées.

Conditions de stockage : Le ciment en vrac doit être conservé dans des silos étanches, secs (à condensation interne réduite), propres et protégés de toute contamination  
Le ciment ensaché devra être conservé dans des sacs fermés, à distance du sol, en atmosphère fraîche et sèche, protégés d'une aération excessive qui entraînerait une détérioration de la qualité du produit.

Matières incompatibles : Aluminium.

### 7.3. Utilisation(s) finale(s) particulière(s)

Pas de données disponibles.

# CIMENTS COURANTS CEM II

## Fiche de données de sécurité

conforme au Règlement (CE) n° 453/2010

### SECTION 8: Contrôles de l'exposition/protection individuelle

#### 8.1. Paramètres de contrôle

CIMENTS COURANTS CEM II		
France	VME (mg/m <sup>3</sup> )	10 mg/m <sup>3</sup> Poussière totale 5 mg/m <sup>3</sup> poussières alvéolaires
Sulfate de calcium dihydrate (10101-41-4)		
France	VME (mg/m <sup>3</sup> )	10 mg/m <sup>3</sup>

#### 8.2. Contrôles de l'exposition

Contrôles techniques appropriés	: Assurer une bonne ventilation du poste de travail.
Protection des mains	: Gants de protection en caoutchouc nitrile ou néoprène imperméables, fabriqués dans une matière contenant peu de Cr (VI) soluble, doublés intérieurement de coton. Ces gants doivent être imperméables, résistants à l'usure et aux alcalis. Les gants ne sont efficaces qu'à la condition que les particules de ciment ne pénètrent pas entre les gants et la peau. Les gants utilisés doivent répondre aux spécifications de la directive 89/686/CEE et de la norme correspondante NF EN 374.
Protection oculaire	: Manipulation de ciment sec ou gâché : Lunettes homologuées ou lunettes étanches conformes à la NF EN 166.
Protection de la peau et du corps	: Vêtements de protection (manches et col fermés). Bottes. Prendre garde à ce que le ciment gâché ne pénètre pas dans les bottes. Pour le travail à genoux, des genouillères imperméables sont nécessaires. Dans la mesure du possible, éviter de s'agenouiller dans du mortier ou du béton frais (ex : bétonnage au sol, pose de chape,...).
Protection des voies respiratoires	: Masque antipoussière FFP2.

### SECTION 9: Propriétés physiques et chimiques

#### 9.1. Informations sur les propriétés physiques et chimiques essentielles

État physique	: Solide
Apparence	: Le ciment sec est un matériau inorganique finement pulvérisé (poudre).
Couleur	: Gris(e). blanc.
Odeur	: inodore.
Seuil olfactif	: Aucune donnée disponible
pH	: 11 - 13,5 (Solution aqueuse) (20°C)
Vitesse d'évaporation relative (l'acétate butylique=1)	: Aucune donnée disponible
Point de fusion	: > 1250 °C
Point de congélation	: Aucune donnée disponible
Point d'ébullition	: Non applicable
Point d'éclair	: Non applicable (solide non inflammable)
Température d'auto-inflammation	: Non applicable
Température de décomposition	: Non déterminé
Inflammabilité (solide, gaz)	: Le produit n'est pas inflammable
Pression de vapeur	: Non déterminé
Densité relative de vapeur à 20 °C	: Non applicable
Densité relative	: Aucune donnée disponible
Densité	: 0,9 - 1,5 g/cm <sup>3</sup> (Masse volumique apparente)- 2.75-3.20 g/cm <sup>3</sup> (Masse volumique absolue)
Solubilité	: Eau: 0,1 - 1,5 g/l Peu soluble (20°C)
Log Pow	: Non applicable
Viscosité, cinématique	: Non applicable
Viscosité, dynamique	: Aucune donnée disponible
Propriétés explosives	: Aucune donnée disponible
Propriétés comburantes	: Non comburant selon les critères CE.
Limites d'explosivité	: Aucune donnée disponible

#### 9.2. Autres informations

Autres propriétés	: Taille des particules : 5-30 µm.
-------------------	------------------------------------

### SECTION 10: Stabilité et réactivité

#### 10.1. Réactivité

A notre connaissance, ce produit ne présente pas de danger particulier.



# CIMENTS COURANTS CEM II

## Fiche de données de sécurité

conforme au Règlement (CE) n° 453/2010

### 10.2. Stabilité chimique

Les ciments secs restent stables tant qu'ils sont conservés correctement (voir la rubrique 7) et compatibles avec la plupart des autres matériaux de construction

Gâchés avec de l'eau, les ciments durcissent en une masse stable qui ne réagit pas dans des environnements ordinaires.

### 10.3. Possibilité de réactions dangereuses

Eviter le contact avec : Aluminium. (Formation d'hydrogène en cas d'utilisation incontrôlée dans un ciment gâché).

### 10.4. Conditions à éviter

L'humidité peut provoquer la prise du ciment (formation de grumeaux) et une perte de qualité du produit.

### 10.5. Matières incompatibles

Acides. Sels d'ammonium. Aluminium et autres métaux non-nobles.

### 10.6. Produits de décomposition dangereux

Aucun, à notre connaissance. Les ciments ne se décomposent pas en sous-produits dangereux et ne subissent pas de polymérisation.

## SECTION 11: Informations toxicologiques

### 11.1. Informations sur les effets toxicologiques

Toxicité aiguë : Non classé (Compte tenu des données disponibles, les critères de classification ne sont pas remplis)

CIMENTS COURANTS CEM II	
DL50 cutanée lapin	> 2000 mg/kg (données bibliographiques)
Corrosion cutanée/irritation cutanée	Provoque une irritation cutanée. pH: 11 - 13,5 (Solution aqueuse) (20°C)
Lésions oculaires graves/irritation oculaire	Provoque des lésions oculaires graves. pH: 11 - 13,5 (Solution aqueuse) (20°C)
Sensibilisation respiratoire ou cutanée	Peut provoquer une allergie cutanée. Certains sujets peuvent présenter un eczéma suite à une exposition au ciment gâché, provoqué soit par le pH élevé qui entraîne une dermatose d'irritation, soit par une réaction immunitaire au Cr (VI) soluble qui provoque une dermatose allergique Les réactions vont de l'érythème léger à une dermatose aggravée Il est souvent malaisé d'arriver à un diagnostic précis Si le ciment contient un agent réducteur de Cr (VI) soluble, il ne devrait pas y avoir de sensibilisation tant que la période d'efficacité indiquée de cet agent n'est pas dépassée
Mutagénicité sur les cellules germinales	Non classé (Compte tenu des données disponibles, les critères de classification ne sont pas remplis)
Cancérogénicité	Non classé (Compte tenu des données disponibles, les critères de classification ne sont pas remplis)
Toxicité pour la reproduction	Non classé (Compte tenu des données disponibles, les critères de classification ne sont pas remplis)
Toxicité spécifique pour certains organes cibles (exposition unique)	Peut irriter les voies respiratoires.
Toxicité spécifique pour certains organes cibles (exposition répétée)	Non classé (Compte tenu des données disponibles, les critères de classification ne sont pas remplis) Etats de santé aggravés par l'exposition : L'exposition répétée aux poussières inhalables en dépassement de la valeur moyenne d'exposition professionnelle peut provoquer toux, éternuements et gêne respiratoire et l'apparition d'une broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) L'inhalation de poussières de ciment peut aggraver une maladie des voies respiratoires préexistante et/ou des pathologies tels qu'emphysème ou asthme et/ou d'autres atteintes préexistantes liées aux yeux ou à la peau
Danger par aspiration	Non classé (Impossibilité technique d'obtenir les données)

## SECTION 12: Informations écologiques

### 12.1. Toxicité

Ecologie - général : A priori le produit ne présente pas de danger pour l'environnement (la toxicité aquatique LC50 n'est pas encore déterminée). Cependant, l'addition de grandes quantités de ciment dans l'eau peut provoquer une élévation du pH et donc se révéler toxique pour des organismes aquatiques dans certaines circonstances.

### 12.2. Persistance et dégradabilité

CIMENTS COURANTS CEM II	
Persistance et dégradabilité	Non biodégradable.

**CIMENTS COURANTS CEM II**

## Fiche de données de sécurité

conforme au Règlement (CE) n° 453/2010

**12.3. Potentiel de bioaccumulation****CIMENTS COURANTS CEM II**

Log Pow	Non applicable
Potentiel de bioaccumulation	Non applicable (substance inorganique).

**12.4. Mobilité dans le sol****CIMENTS COURANTS CEM II**

Ecologie - sol	Non applicable.
----------------	-----------------

**12.5. Résultats des évaluations PBT et VPVB****CIMENTS COURANTS CEM II**

Cette substance/mélange ne remplit pas les critères PBT du règlement REACH annexe XIII
Cette substance/mélange ne remplit pas les critères vPvB du règlement REACH annexe XIII

**12.6. Autres effets néfastes**

Pas d'informations complémentaires disponibles

**SECTION 13: Considérations relatives à l'élimination****13.1. Méthodes de traitement des déchets**

Recommandations pour l'élimination des déchets	<p>: Produit - ciment ayant dépassé sa durée maximale d'utilisation et pour lequel il a été prouvé qu'il contient plus de 0,0002% de Cr (VI) soluble dans l'eau : utilisation/vente réservées aux procédés contrôlés fermés et totalement automatisés ou recyclage/élimination conformément à la législation locale ou traiter à nouveau avec un agent réducteur.</p> <p>Produit - résidu ou déversement sous forme sèche : Provoquer la prise en ajoutant de l'eau et éliminer conformément à la législation locale.</p> <p>Produit - boues liquides : Laisser durcir, éviter son introduction dans les égouts, les réseaux d'évacuation ou les cours d'eau (ex. ruisseau) et éliminer conformément à la législation locale.</p> <p>Produit - après ajout d'eau, la prise ayant eu lieu : Éliminer conformément à la législation locale. Éviter son introduction dans le réseau d'évacuation des eaux usées. Éliminer le produit durci en tant que déchets de béton.</p> <p>Vu les propriétés d'inertage du béton, ses déchets ne sont pas considérés comme des déchets dangereux.</p> <p>Enregistrements au Catalogue européen des déchets : 10 13 14 (Déchets provenant de la fabrication de ciment - déchets de béton ou boues de béton) ou 17 01 01 (Déchets de construction et de démolition - béton).</p>
Indications complémentaires	<p>: Vider complètement l'emballage puis appliquer le traitement conforme à la législation locale.</p> <p>Enregistrements au Catalogue européen des déchets : 15 01 01 (Déchets de papier et cartons d'emballage). L'attention de l'utilisateur est attirée sur la possible existence de dispositions législatives, réglementaires et administratives spécifiques, communautaires, nationales ou locales, relatives à l'élimination, le concernant.</p>

**SECTION 14: Informations relatives au transport**

Conformément aux exigences de ADR / RID / IMDG / IATA / ADN

**14.1. Numéro ONU**

Le produit n'est pas un produit dangereux selon les règlements applicables au transport

**14.2. Nom d'expédition des Nations unies**

Non applicable

**14.3. Classe(s) de danger pour le transport**

Non applicable

**14.4. Groupe d'emballage**

Non applicable

**14.5. Dangers pour l'environnement**

Dangereux pour l'environnement	: Non
Polluant marin	: Non
Autres informations	: Pas d'informations supplémentaires disponibles

**14.6. Précautions particulières à prendre par l'utilisateur****14.6.1. Transport par voie terrestre**

Pas d'informations complémentaires disponibles

**14.6.2. Transport maritime**

Pas d'informations complémentaires disponibles



# CIMENTS COURANTS CEM II

## Fiche de données de sécurité

conforme au Règlement (CE) n° 453/2010

### 14.6.3. Transport aérien

Pas d'informations complémentaires disponibles

### 14.6.4. Transport par voie fluviale

Pas d'informations complémentaires disponibles

### 14.7. Transport en vrac conformément à l'annexe II de la convention MARPOL 73/78 et au recueil IBC

Non applicable

## SECTION 15: Informations réglementaires

### 15.1. Réglementations/législation particulières à la substance ou au mélange en matière de sécurité, de santé et d'environnement

#### 15.1.1. Réglementations EU

Pas de restrictions selon l'annexe XVII de REACH

Ne contient pas de substance candidate REACH

Autres informations, restrictions et dispositions légales : Le marquage et l'utilisation du ciment est soumis à une restriction sur la teneur en Cr (VI) soluble (REACH Annexe XVII point 47 Composés du chrome VI):

1. Le ciment et les mélanges contenant du ciment ne peuvent être mis sur le marché, ni utilisés, s'ils contiennent, lorsqu'ils sont hydratés, plus de 2 mg/kg (0,0002 %) de chrome VI soluble du poids sec total du ciment.
2. Si des agents réducteurs sont utilisés – et sans préjudice de l'application d'autres dispositions communautaires relatives à la classification, à l'emballage et à l'étiquetage des substances et des mélanges –, les fournisseurs veillent à ce que, avant sa mise sur le marché, l'emballage du ciment ou des mélanges contenant du ciment comporte des informations visibles, lisibles et indélébiles indiquant la date d'emballage, les conditions de stockage et la période de stockage appropriée afin que l'agent réducteur reste actif et que le contenu en chrome VI soluble soit maintenu en dessous de la limite visée au paragraphe 1.
3. Par dérogation, les paragraphes 1 et 2 ne s'appliquent pas à la mise sur le marché et à l'emploi dans le cadre de procédés contrôlés fermés et totalement automatisés, dans lesquels le ciment et les mélanges contenant du ciment sont traités exclusivement par des machines, et où il n'existe aucun risque de contact avec la peau.

#### 15.1.2. Directives nationales

##### France

Maladies professionnelles : RG 25 - Affections consécutives à l'inhalation de poussières minérales renfermant de la silice cristalline (quartz, cristobalite, tridymite), des silicates cristallins (kaolin, talc), du graphite ou de la houille.  
RG 8 - Affections causées par les ciments (alumino-silicates de calcium)

### 15.2. Évaluation de la sécurité chimique

Aucune évaluation de la sécurité chimique n'a été effectuée

## SECTION 16: Autres informations

Indications de changement:

Cette fiche a été actualisée (voir date en haut de page). Cette fiche a été entièrement remaniée (modifications non signalées).

Sources des données : (1) Portland Cement Dust - Hazard assessment document EH75/7, UK Health and Safety Executive, 2006. Available from: <http://www.hse.gov.uk/pubns/web/portlandcement.pdf>  
(2) Observations on the effects of skin irritation caused by cement, Kietzman et al, Dermatosen, 47, 5, 184-189 (1999)  
(3) European Commission's Scientific Committee on Toxicology, Ecotoxicology and the Environment (SCTEE) opinion of the risks to health from Cr (VI) in cement (European Commission, 2002)  
(4) Epidemiological assessment of the occurrence of allergic dermatitis in workers in the construction industry related to the content of Cr (VI) in cement, NIOH, Page 11, 2003.

Abréviations et acronymes : ADR - RID : Accord européen sur le transport des marchandises Dangereuses par Route – Règlement International concernant le transport des marchandises Dangereuses par chemin de fer. IMDG : International Maritime Dangerous Goods. IATA : International Air Transport Association. DL50 : Dose létale entraînant la mort de 50% des animaux testés.

Autres informations : Ciments visés par la norme NF EN 197-1 d'avril 2012. Fiche de données de sécurité établie par : LISAM SERVICES - TELEGIS  
17, Rue de la Couture F-60400 PASSEL  
Safety Made Easy with [www.lisam.com](http://www.lisam.com). Les prescriptions réglementaires reprises ci-dessus, sont celles en vigueur le jour de l'actualisation de la fiche. Mais, compte tenu d'une évolution toujours possible des réglementations régissant le transport des matières dangereuses et dans le cas où la FDS en votre possession daterait de plus de 12 mois, il est conseillé de s'assurer de leur validité auprès de votre agence commerciale.

# CIMENTS COURANTS CEM II

## Fiche de données de sécurité

conforme au Règlement (CE) n° 453/2010

Texte complet des phrases R, H et EUH:

Acute Tox. 4 (Oral)	Toxicité aiguë (par voie orale), Catégorie 4
Eye Dam. 1	Lésions oculaires graves/irritation oculaire, Catégorie 1
Eye Irrit. 2	Lésions oculaires graves/irritation oculaire, Catégorie 2
Skin Irrit. 2	Corrosif/irritant pour la peau, Catégorie 2
Skin Sens. 1	Sensibilisation cutanée, Catégorie 1
STOT SE 3	Toxicité spécifique pour certains organes cibles — Exposition unique, Catégorie 3
H302	Nocif en cas d'ingestion
H315	Provoque une irritation cutanée
H317	Peut provoquer une allergie cutanée
H318	Provoque des lésions oculaires graves
H319	Provoque une sévère irritation des yeux
H335	Peut irriter les voies respiratoires
R22	Nocif en cas d'ingestion
R36/38	Irritant pour les yeux et la peau
R37/38	Irritant pour les voies respiratoires et la peau
R41	Risque de lésions oculaires graves
R43	Peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau
Xi	Irritant
Xn	Nocif

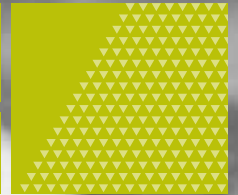
FDS UE (Annexe II REACH)

Ces informations sont basées sur nos connaissances actuelles et décrivent le produit pour les seuls besoins de la santé, de la sécurité et de l'environnement. Elles ne devraient donc pas être interprétées comme garantissant une quelconque propriété spécifique du produit.

# PROMPT

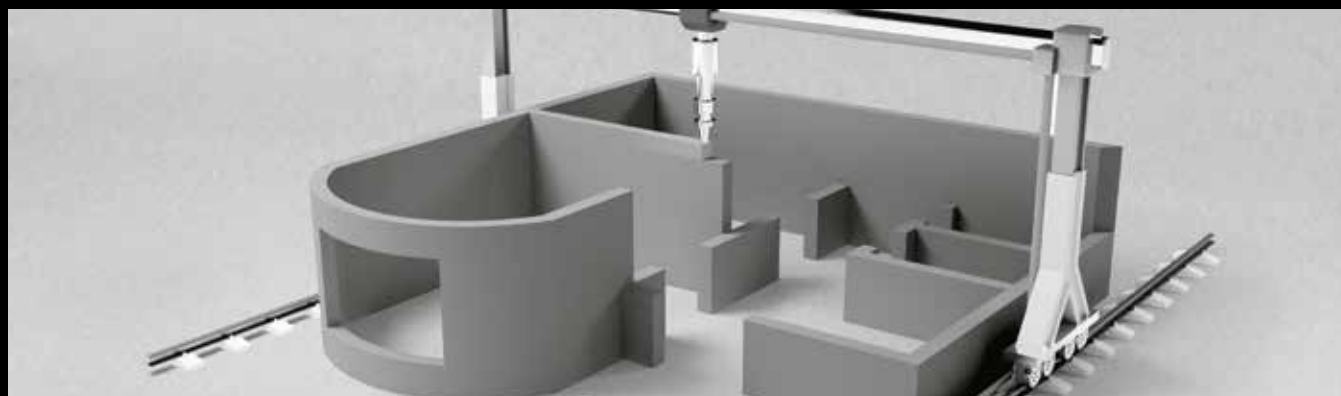
**CEMENTO NATURAL  
EXCLUSIVIDAD VICAT**

ECOCONSTRUCCIÓN, MAMPOSTERÍA RÁPIDA, FORMULACION,  
AGUA Y SANEAMIENTO, RESTAURACIÓN Y DECORACIÓN





# DESDE 1842, UN PRODUCTO EXCEPCIONAL FUENTE DE INNOVACIÓN



**SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL FUTURO MEDIANTE IMPRESIÓN 3D**



**OBRAS NOCTURNAS PARA UNA PUESTA EN SERVICIO A PARTIR DE LA MAÑANA SIGUIENTE**



**OBRAS SUMERGIDAS EN CONDICIONES EXTREMAS**



**RESTAURACIONES DE GRAN ENVERGADURA DE MONUMENTOS EXCEPCIONALES**

# DESARROLLADO EN EXCLUSIVA POR VICAT, EL **PROMPT<sup>UP</sup>** ES UN CEMENTO NATURAL QUE OFRECE:

## ▼ Una gran rapidez de uso al servicio del sector de la construcción

El único cemento que ofrece resistencias desde el momento del fraguado, permitiendo este modo uno de los plazos de puesta en servicio más rápidos. En formulación, también actúa como un potente acelerador de todos los ligantes hidráulicos (cales, CEM, CSA, CAC).

## ▼ Polivalencia para multitud de aplicaciones

Con dosificaciones diversas y con un inicio de fraguado regulable desde varios minutos a más de una hora a temperaturas entre 5 y 30 °C, el PROMPT<sup>UP</sup> ofrece flexibilidad de uso para adaptarse a todo tipo de aplicaciones, desde las más tradicionales hasta las más innovadoras.

## ▼ Gran durabilidad

Con un alto contenido en belita, este ligante desprende muy poca cal durante la fase de hidratación y ofrece de este modo un excelente comportamiento en entornos agresivos.

## ▼ huella medioambiental

El PROMPT<sup>UP</sup> es un cemento natural, fabricado sin ningún aditivo, que contribuye a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> gracias a su cocción a baja temperatura (entre 500 y 1200 °C).



RÁPIDO



DURABILIDAD



ECORRESPONSABLE



# UN PRODUCTO ÚNICO PARA SOLUCIONES RÁPIDAS Y EFICACES

## MAMPOSTERÍA RÁPIDA

Los mejores resultados, incluso con temperaturas bajas

Tanto en obra nueva como en trabajos de renovación, para empotramientos y apuntalamientos, reparación de hormigones, colocación de piedras, hormigones rápidos.

- ▼ Fraguado rápido y regulable con TEMPO, un retardador de inicio de fraguado
- ▼ Ofrece resistencia desde el mismo momento en que fragua
- ▼ Excelente adherencia sobre todo tipo de soportes



EMPOTRAMIENTOS DE BOLARDOS

## AGUA Y SANEAMIENTO

Impermeabilizar y reparar

Impermeabilización, reparación de estanques, depósitos y piscinas, todo tipo de trabajos sumergidos

- ▼ Resistencia al agua de mar, a aguas puras y agresivas
- ▼ Excelente adherencia a todo tipo de soportes
- ▼ Solución económica
- ▼ Excelente durabilidad



IMPERMEABILIZACIÓN DE ESTANQUE



## RESTAURACIÓN Y DECORACIÓN

Poner en relieve su maestría

Renovación de edificación antigua, restauración de monumentos históricos y obras de arte, realización de decorados.

- ▼ Mineralogía totalmente compatible con la cal
- ▼ Se adapta perfectamente a los soportes antiguos gracias a su bajo módulo de elasticidad
- ▼ Conservación de la permeabilidad al vapor de agua de los muros



RESTAURACIÓN DE LA FACHADA DE LA VILLA DE LA EMBAJADA, ESTABLECIMIENTO DIOR Saint-Tropez (83) – Estudio de arquitectura LAC – Empresa Les Ateliers du Paysage

## ECOCONSTRUCCIÓN

SOLUCIONES DE ORIGEN BIOLÓGICO A PIE DE OBRA

La opción natural

Aislamiento de suelos y pisos, muros y tabiques, tejados, enlucidos aislantes y capas ligeras

- ▼ Soluciones 100% naturales y 100% reciclables
- ▼ Confort térmico, acústico, higrotérmico
- ▼ Almacenamiento de CO<sub>2</sub>
- ▼ Puesta en servicio rápida de las soleras
- ▼ Valorización de las habilidades del albañil



CASA DE HORMIGÓN DE CÁÑAMO Arbusigny (Alta Saboya)

# UN PRODUCTO INNOVADOR PARA SOLUCIONES A MEDIDA

## FORMULACIÓN ESPECÍFICA

Desarrollar formulaciones de acuerdo con nuevas perspectivas

Morteros de empotramiento, de reparación y de impermeabilización.

Enlucidos de restauración de fachadas y otros elementos decorativos del siglo XIX.

Hormigones rápidos para reparación de calzadas de hormigón con tráfico intenso y pistas de aeropuertos.

- ▼ Tiempo de inicio de fraguado ajustable según la temperatura
- ▼ En combinación con diversos ligantes, se consigue una resistencia inicial muy elevada desde el momento del fraguado y al cabo de 28 días.
- ▼ Posibilidad de una puesta en servicio de la infraestructura 3 horas después del vertido.
- ▼ Baja retracción.



CENTRO TÉCNICO LOUIS VICAT  
L'ISLE D'ABEAU (38)

## ECOCONSTRUCCIÓN

SOLUCIONES DE ORIGEN BIOLÓGICO EN PREFABRICACIÓN

Ofrecer una puesta en obra sencilla con altas prestaciones

Bloques, bloques monomuro y paneles de hormigón vegetal.

- ▼ Soluciones 100% naturales y 100% reciclables
- ▼ Confort térmico, acústico, higrotérmico
- ▼ Almacenamiento de CO<sub>2</sub>
- ▼ Soluciones competitivas e innovadoras
- ▼ Puesta en obra sencilla



(1) BLOQUE DE HORMIGÓN DE CÁÑAMO MACHIHembrado  
(2) PANEL DE HORMIGÓN DE CÁÑAMO NEOCÁÑAMO – EMPRESA MNBC



# LA EXPERIENCIA DE VICAT EN EL CORAZÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

- ▼ Desde hace más de 160 años, en el macizo de la Chartreuse (departamento de l'Isère), se explota un yacimiento excepcional de piedra caliza para la fabricación de PROMPT<sup>UP</sup>. Gracias a su composición química y mineralógica homogénea y precisa permite la elaboración de este cemento natural sin aditivos externos.
- ▼ Para las soluciones a medida adaptadas a cada tipo de trabajo, el Centro Técnico Louis Vicat de L'Isle d'Abeau (Isère) aporta sus conocimientos para la formulación de morteros y hormigones.
- ▼ Los equipos de Vicat asisten a los clientes en la realización de sus trabajos ofreciéndoles numerosos servicios: sitio web, fichas de aplicaciones, vídeos, guía de utilización, asistencia técnica con un asesor de aplicaciones de prescripción.
- ▼ Garantía y homologaciones: el PROMPT<sup>UP</sup> cuenta con la marca NF P 15-314 (cemento Prompt natural) y NF P 15-317 (obras marítimas). Dispone del marcado CE conforme al documento de idoneidad técnica europeo: ETA-07/0019 - Certificado n.º 0679-CPD-0227.





## EL RENDIMIENTO MÁXIMO LLEVA LA FIRMA DE VICAT

Las competencias técnicas del grupo Vicat, sumadas a su apuesta por la innovación, le permiten disfrutar de soluciones excepcionales elaboradas con cemento y hormigón, para trabajos de alta complejidad técnica, elevada creatividad y de gran exigencia medioambiental.

### VICAT

Tel. +33 (0)4 74 18 40 10  
marketing@vicat.fr

[www.ciment-vicat.com](http://www.ciment-vicat.com)  
[www.cimentetarchitecture.fr](http://www.cimentetarchitecture.fr)

#### Créditos de las fotografías

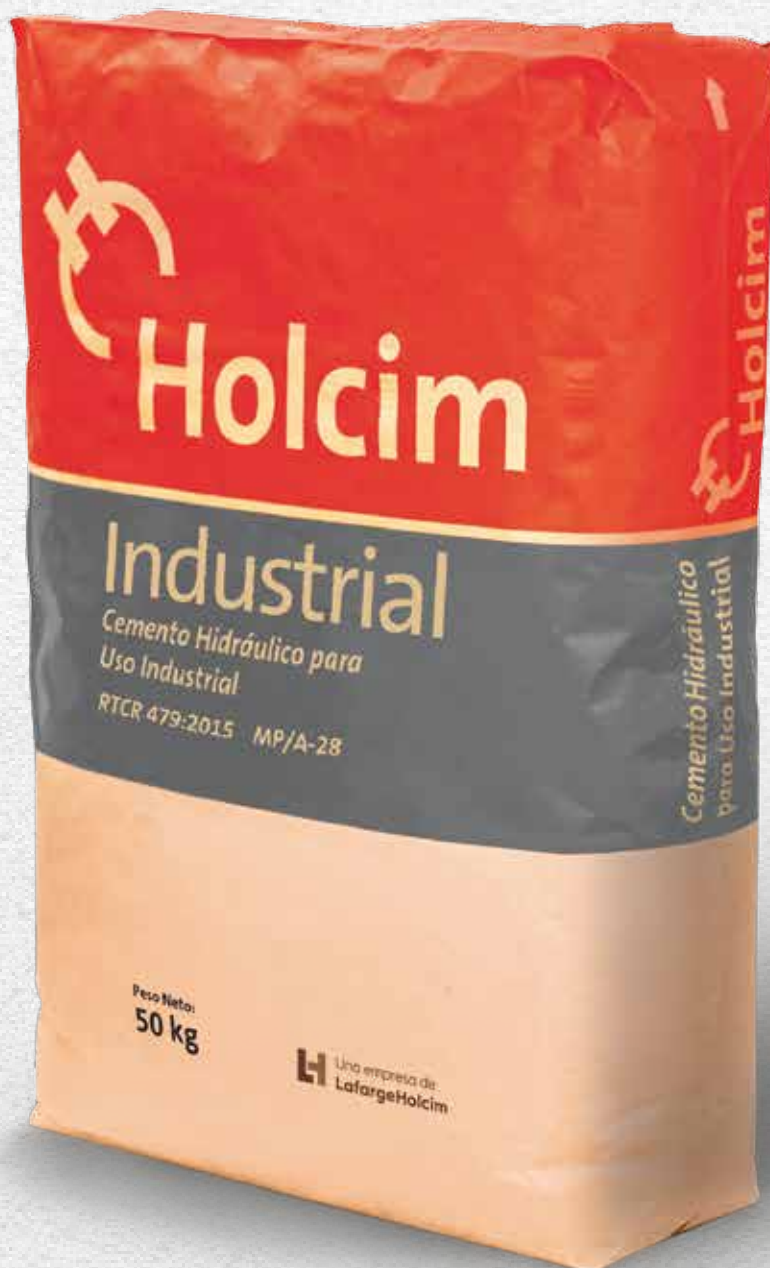
PORTADA: Ondrej Polak  
PÁGINAS INTERIORES: DR Vicat, Alexei Sysoev, Concretum, MNBC, Christophe Pouget, Nicolas Robin, Patrick Etievant

#### Diseño, creación

agencia MMAP  
07-16

# Cemento Industrial

El Cemento Holcim Industrial es un cemento para uso en concretos especiales y de alta resistencia inicial



# Cemento hidráulico Industrial

## Tipo MP/A-28

RTCR 479:2015

### Producido en:

Holcim Costa Rica, Aguacaliente de Cartago

### Presentación:

Bolsas 25 kg, bolsas 50 kg, granel

*Clasificación arancelaria: 25.23.90.00.00*

*Planta de Cemento Cartago con un sistema de gestión certificado según normas ISO 9001:2008 Gestión de Calidad e ISO 14001:2004 Gestión Ambiental.*

*Producto Certificado por INTECO para el Uso de la Marca de Conformidad de Producto INTECO, con el Reglamento Nacional de Costa Rica RTCR 479.2015.*

## DEFINICIÓN

El Cemento Holcim INDUSTRIAL cumple con el Reglamento Técnico de Costa Rica RTCR 479:2015 (decreto 39414-MEIC-S del 4 de enero 2016) como cemento tipo MP/A-28.

El Cemento Holcim INDUSTRIAL es obtenido por la molienda conjunta y uniforme de Clinker tipo Portland y Puzolana, esta última en proporciones que van del 6% al 20% en peso del cemento.

El Cemento Holcim INDUSTRIAL es el recomendado para construcciones industriales de mayor resistencia y durabilidad Su contenido controlado de  $C_3A$  menor al 8% provee un moderado calor de hidratación lo cual favorece la disminución de agrietamiento superficial por contracción plástica, cuando se

controlan adecuadamente los parámetros de curado.

La inclusión de la Puzolana Holcim en el Cemento Holcim INDUSTRIAL, genera concretos más densos y de mayor durabilidad, cuyas características los hacen resistentes a la acción de medios agresivos, presencia de sulfatos, cloruros y agua de mar.

El Cemento Holcim INDUSTRIAL, por sus características de durabilidad es un sustituto adecuado al Cemento Portland tipo II (ASTM C150) de moderada resistencia a los sulfatos. La Puzolana Holcim utilizada en el Cemento Holcim INDUSTRIAL es natural; clasificación N según norma ASTM C 618.

La Puzolana Holcim, es de origen volcánico, con un alto contenido de sílice ideal para producir la reacción puzolánica donde el sílice reacciona con la cal:  $Ca(OH)_2$  producto de la hidratación del cemento, generando más silicatos responsables del desarrollo sostenido de resistencias.

La Puzolana Holcim es importante por varias razones:

► Su reacción química consume la cal sobrante del proceso de hidratación. Esta cal es vulnerable a disolverse y reaccionar en presencia de agua y ácidos, de tal forma que reduciendo este residuo de cal se obtiene un efecto positivo en la resistencia y durabilidad del concreto.

► Los silicatos de calcio resultantes de la reacción puzolánica actúan como relleno de los poros capilares, generando concretos poco permeables, lo que acentúa su durabilidad y resistencia ante el ataque de sustancias nocivas para el concreto.



# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

**TABLA 1: ANÁLISIS QUÍMICOS DEL CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL**

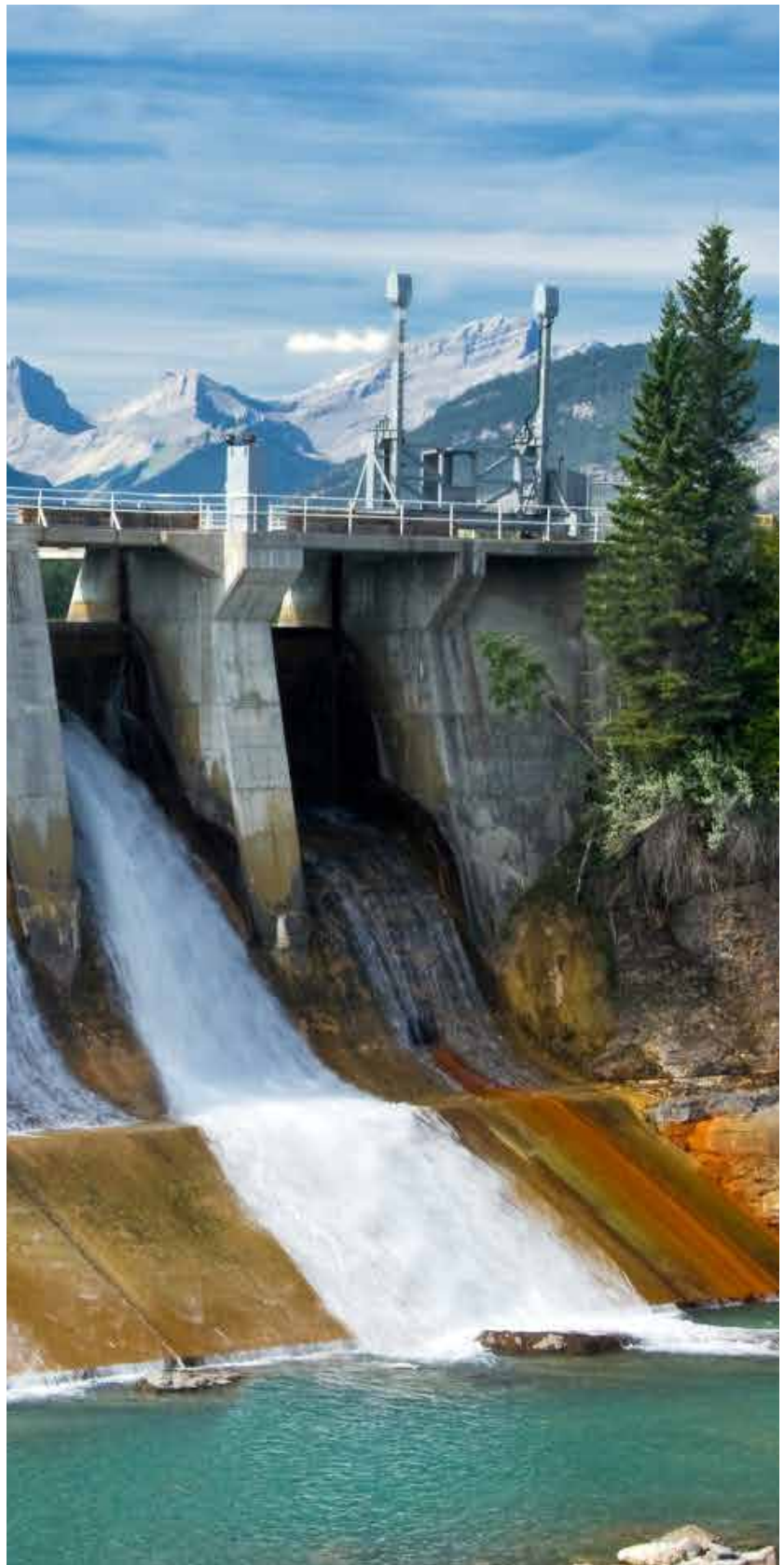
	CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL	RTCR 479: 2015
% Óxido de magnesio ( $MgO$ ), max%	$\leq 6,0$	$\leq 6,0$
% Trióxido de azufre ( $SO_3$ ) max%	$\leq 2,95^*$	$\leq 4,0$
Aluminato Tricálcico ( $C3A$ ), máx %	$\leq 8,0^{**}$	-

\* El valor del  $SO_3$  indicado, cumple con la norma europea EN197 para los cementos resistentes a los sulfatos, la cual regula un máximo de un 3,50% para cementos adicionados con puzolanas naturales.

\*\* El valor del  $C3A$  es un valor de referencia para asegurar cumplimiento con norma europea EN197 para los cementos resistentes a los sulfatos, la cual regula un máximo de un 9,0% para cementos adicionados con puzolanas naturales.

**TABLA 2: COMPONENTES PRINCIPALES DEL CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL (% EN MASA)**

COMPONENTES	CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL	RTCR 479: 2015
Clinker	80-89	80-94
Minerales Pozolánicos	6-20	6-20
Otros	0-5	0-5



**TABLA 3: REQUERIMIENTOS FÍSICOS DEL CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL**

		CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL	RTCR 479: 2015	ASTM C595 IP (HS)
Superficie específica ASTM C204	Min, m <sup>2</sup> /kg	330	-	-
	Min, cm <sup>2</sup> /kg	3300	-	-
Finura retenido en tamiz 0.045mm INTE 06-11-10 (max. %)	Pasante (min,%)	97,5	-	-
	Retenido (max,%)	3,5	-	-
Cambio en longitud autoclave INTE 06-11-03	Expansión (max%)	0,2	0,8	0,8
	Contracción (max,%)			0,2
Tiempo de Fragua,minutos	Inicial (min,minutos) INTE 06-11-05	45	45	45
	Final (max,minutos) INTE 06-11-05	420	420	420
Contenido de aire del mortero INTE 06-11-04 (max. %)		12	12	12
Resistencia mínima a la compresión INTE 06-02-20	1 día	-	-	-
	3 días	13	13	11,0
	7 días	20	20	18,0
	28 días	28	28	25,0
Calor de hidratación ASTM C 186 (max,kl/kg)	7 días	-	-	290
	28 días	-	-	330
Expansión en barras de mortero 14 días, % máximo ASTM C 1038	14 días	0,02	0,02	0,02
	56 días	-	-	0,06
Falso fraguado, % mínimo ASTM C451		50	50	-
Expansión por sulfatos ASTM C 1012 (max,%)	6 meses	-	-	0,05
	1 año	-	-	0,10

**TABLA 4 REQUISITOS DE LOS COMPONENTES MINERALES (PUZOLANA)**

CARACTERISTICAS	PUZOLANA HOLCIM TIPO N	REQUISITOS SEGUN ASTM C618
Contenido de minerales reactivos ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (min.%)	80.0	70.0
% Trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) max%	4.0	4.0
Contenido de humedad (máx.)%	3.0	3.0
Pérdida a la ignición(máx.)%	10.0	10.0
Índice de actividad con cemento tipo I-28 a 7 o 28 días (min.)%	75	75

## PREPARACIÓN DEL CEMENTO

El Cemento Holcim INDUSTRIAL es un cemento con adición de puzolana, que desarrolla altas resistencias iniciales. La incorporación de Puzolana Holcim genera resistencias a la agresión química, aguas y suelos ácidos y condiciones marinas (presencia de aguas saladas y con sulfatos).

El Cemento Holcim INDUSTRIAL, se debe dosificar como todos los cementos, de acuerdo con un diseño de mezcla del concreto en el cual se considere la calidad de los agregados, generando concretos con mayor desarrollo de resistencias a largo plazo. El rendimiento en el concreto será acorde al diseño de mezcla del mismo.

El Cemento Holcim INDUSTRIAL es un cemento para uso en concretos especiales y de alta resistencia inicial.

## USOS RECOMENDADOS

- ▶ Concreto de tipo estructural
- ▶ Concretos resistentes a la agresión química
- ▶ Estructuras prefabricadas y pretensadas
- ▶ Concretos premezclados
- ▶ Producción de mampostería y elementos prefabricados
- ▶ Concretos impermeables
- ▶ Obras en contacto con aguas o suelos ácidos
- ▶ Plantas de tratamiento
- ▶ Canales y obra hidráulicas

## RECOMENDACIONES

- ▶ Mantener un curado uniforme y sostenido. Realizar el diseño de mezcla del concreto o del mortero que corresponda.
- ▶ Mantener buenas técnicas de aplicación y procesos constructivos adecuados.
- ▶ Mantener condiciones de almacenamiento adecuadas para el cemento, según lo indicado en los documentos de la PCA, ACI international cap.2, y ACI 304 sección 2.3

### CORRESPONDENCIA CON NORMATIVA INTERNACIONAL

Holcim (Costa Rica) ofrece a sus clientes una amplia variedad de cementos hidráulicos preparados para diferentes aplicaciones en mezclas de concreto, de acuerdo a los requisitos de sus clientes.

Dichos cementos están diseñados para cumplir con los requisitos de la legislación de Costa Rica, el Reglamento Técnico Nacional RTCR 479:2015

*Para mayor información contactar al servicio al cliente 2205-2900*

*Visita nuestro sitio [www.holcim.cr](http://www.holcim.cr)*

 **Holcim Costa Rica**